



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EKSPERIMENTAL DAN PERMODELAN KARAKTERISTIK  
DISTRIBUSI KABUT AIR DUA NOSEL UNTUK APLIKASI  
PEMADAMAN KEBAKARAN KOLAM API**

**TESIS**

**HENDAR KUSNANDAR**

**1006735694**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JANUARI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EKSPERIMENTAL DAN PERMODELAN KARAKTERISTIK  
DISTRIBUSI KABUT AIR DUA NOSEL UNTUK APLIKASI  
PEMADAMAN KEBAKARAN KOLAM API**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik**

**HENDAR KUSNANDAR**

**1006735694**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

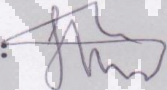
**JANUARI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Thesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Hendar Kusnandar**

**NPM : 1006735694**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 24 Januari 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Hendar Kusnandar  
NPM : 1006735694  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tesis : Eksperimen dan Permodelan Karakteristik Distribusi Kabut Air Dua Nosel Untuk Aplikasi Pemadaman Kebakaran Kolam Api.

Telah berhasil dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada program Studi Teknik Mesin-Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Ir. Yulianto Sulistyono Nugroho, M.Sc., Ph.D (.....)  
Penguji : Dr.Ir. Engkos A.K, MT (.....)  
Penguji : Dr. Ir. Harinaldi, M.eng (.....)  
Penguji : Prof. Dr. I Made Kartika Diputra. Dipl. Ing (.....)  
Penguji : Dr.Ir. Warjito, M.eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Januari 2012

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas semua berkat dan rahmat-Nya sehingga thesis ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Thesis ini merupakan salah satu syarat kelulusan berdasarkan kurikulum master Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.

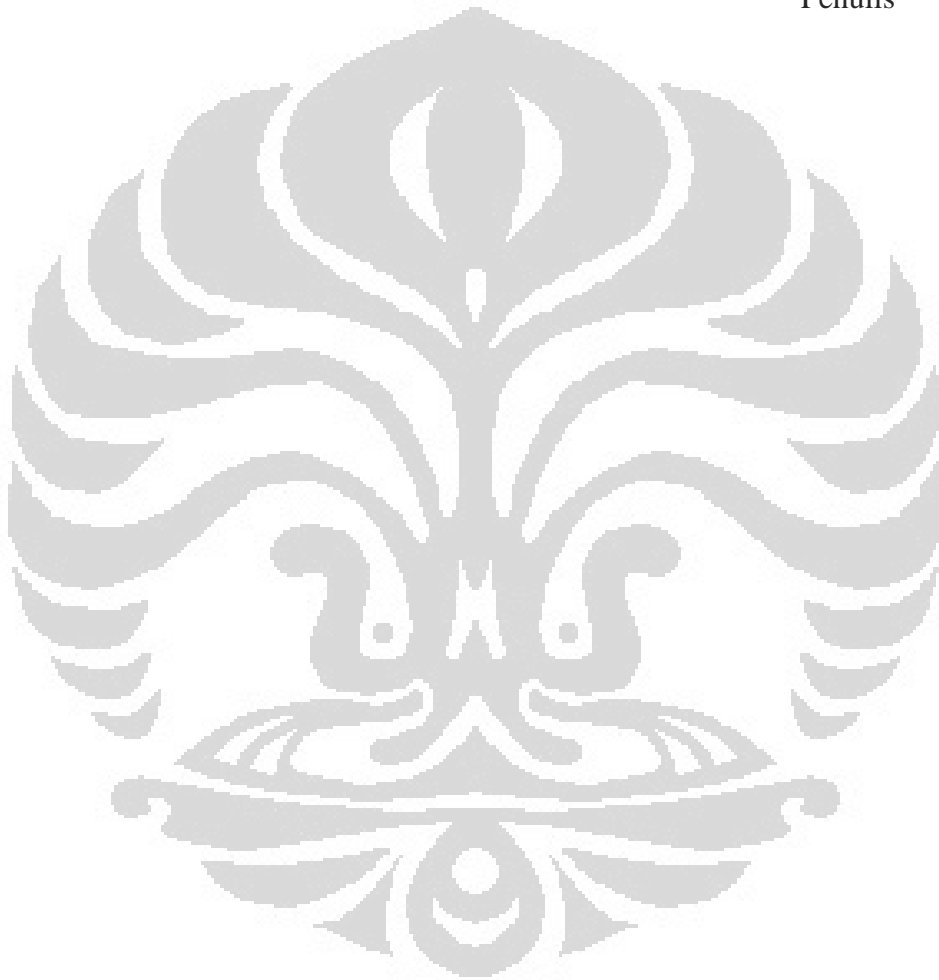
Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam penulisan thesis ini, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua saya, adik, kaka, dan seluruh keluarga besar yang senantiasa mendoakan, memberi dorongan dan kasih sayang yang berlimpah
2. Prof. Dr. Ir. Yulianto S Nugroho, MSc. sebagai dosen pembimbing yang selalu memberi masukan, saran dan diskusi dalam penyelesaian thesis ini.
3. Dr. Ir. Engkos Kosasih, MT, sebagai dosen pembimbing yang selalu memberi masukan, saran dan diskusi.
4. Seluruk civitas akademika Teknik Mesin FT UI baik dosen mau karyawan yang selalu membantu dalam penyelesaian thesis.
5. I-M HERE yang telah membatu pembiayaan studi penulis.
6. Sulistyو dan Eric gunawan, Guruh darsono, yang merupakan rekan tim dalam pengerjaan thesis ini.
7. Semua rekan-rekan gunawan, muhamad baqi, mas Irvan, mas Setya dan rekan-rekan lab manufaktur lantai 2 teguh, jedil dkk yang tak henti-hentinya selalu mendukung.
8. Semua rekan-rekan Teknik Mesin dan Kapal 2006 atas dukungan akan thesis ini.
9. Elis septiani yang tak henti-hentinya mendukung dan sabar menunggu dalam penyesaian studi penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu didalam thesis ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga penulisan thesis ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 23 Januari 2012

Penulis



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

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

Nama : Hendar Kusnandar  
NPM : 1006735694  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Thesis

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:

**Eksperimental dan Permodelan Karakteristik Distribusi Kabut Air Dua Nosel Untuk Aplikasi Pemadaman Kebakaran Kolam Api**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 24 januari 2012

Yang menyatakan



(Hendar Kusnandar)

## BSTRAK

Nama : Hendar Kusnandar  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Eksperimental dan Permodelan Karakteristik Distribusi Kabut  
Air Dua Nosel Untuk Aplikasi Pemadaman Kebakaran Kolam Api

Popularitas *water mist* saat ini semakin meningkat untuk berbagai aplikasi khususnya dalam bidang proteksi kebakaran dan pendinginan permukaan bahan bakar. Penelitian ini berfokus studi eksperimen dan permodelan dari karakteristik *water mist* dan pemadaman kebakaran jenis *pool fire* untuk sebuah *nosel* dan interaksi dari dua *nosel* pada variasi jarak yang ditentukan. *Full-cone nosel* dioperasikan pada tekanan yang bervariasi dengan volume diameter droplet rata-rata diharapkan 110 um. Karakteristik dari *spray water mist* didefinisikan dengan menggunakan derajat keabu-abuan (*gray level*) pada daerah tertentu. Pengukuran menunjukkan bahwa panjang diameter *spray* atau *coverage area* lebih besar dicapai pada tekanan yang lebih besar. Dalam kasus interaksi dua *nosel*, interaksi penggabungan *spray* yang seragam dihasilkan pada jarak yang lebih pendek dari ujung *nosel* pada tekanan lebih tinggi. Hasil eksperimental dan simulasi menunjukkan bahwa efektivitas pemadaman kebakaran *pool fire* bergantung pada posisi nosel, jumlah nosel, momentum yang diberikan. Sebuah teknik pengukuran yang sederhana telah dikembangkan dalam pekerjaan ini.

**Keywords:** *Water mist*, interaksi dua *nosel*, *pool fire*, teknik pengolahan citra.



## ABSTRACT

Name : Hendar Kusnandar  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : Eksperimental and Modeling Study of the Distribution  
Characteristic of Two Water Mist Nozzles For Fire  
Extinguishment of Pool fire

Popularity of water mist is rising for a variety of applications, especially in the field of fire protection and cooling surface fuel. This study focuses to experimental and modeling of the characteristics and water mist fire suppression for pool fire of a nozzle and the interaction of two nozzle variations of a defined distance. Full-cone nozzle is operated at a pressure that varies with the volume average droplet diameter of 110  $\mu\text{m}$  is expected. Characteristics of a water spray mist is defined by using gray level in certain areas. Measurements showed that the length of the diameter of spray or a larger coverage area is achieved at greater pressure. In the case of two-nozzle interaction, the interaction of a uniform pattern resulting in a shorter distance from the nozzle tip at higher pressure. Experimental and simulation results show that effectiveness pool fire suppression depends on the nozzle, number of nozzle, the momentum is given. A simple measurement technique has been developed in this work.

**Keywords:** Water mist, the interaction of two nozzles, pool fire, image processing techniques

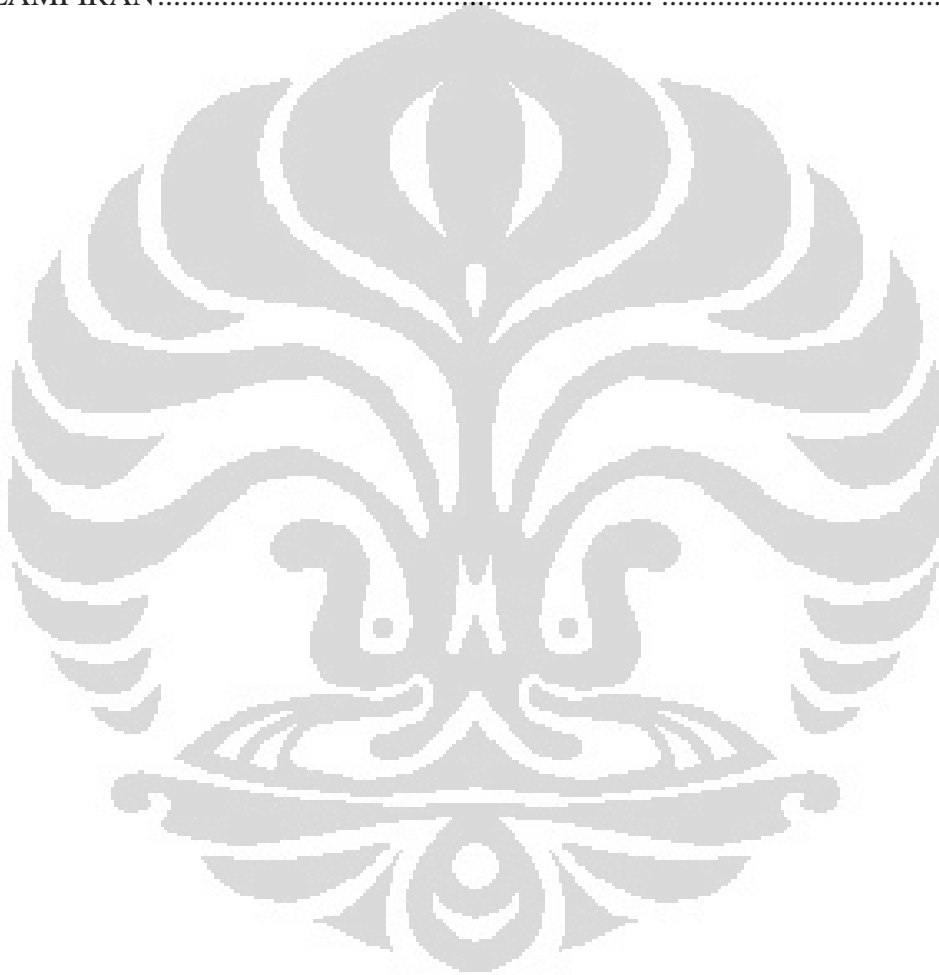
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	Error! Bookmar
HALAMAN PENGESAHAN .....	Error! Bookmar
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR SIMBOL .....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Metodologi Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Nosel dan Sistem Injeksi.....	6
2.1.1 Jenis Nosel Berdasarkan Mekanisme Kerjanya.....	7
2.1.1.1 Single-Fluid Nosel.....	7
2.1.1.2 Twin Fluid Nosel.....	8
2.2 Dasar-dasar dari Spray.....	11
2.2.1 Rezim Spray.....	11
2.2.1.1 Proses Breakup.....	13
2.2.1.1.1 Primary Breakup.....	14
2.2.1.1.2 Secondary Breakup.....	17
2.2.2 Definisi Diameter Rata-rata Droplet .....	18
2.2.3 Free Body Diagram dari Droplet .....	19
2.3 Pengolahan Citra .....	20
2.3.1 Kuantisasi .....	22

2.3.2	Scattering dari droplet.....	25
2.4	CFD Fluent .....	26
2.4.1	Gambit .....	27
2.4.2	Persamaan transport.....	27
2.4.3	Model Diskrit.....	29
2.5	Pemadamaan api pada pool fire.....	30
2.5.1	Pool Fire.....	30
2.5.2	Laju Pelepasan Massa Pembakaran dan Produksi Kalor pool fire.....	31
2.5.3	Interaksi water mist dengan pool fire dan karakteristik api.....	32
2.5.3.1	Interaksi water mist dan pool fire .....	32
2.5.4	Mekanisme Pemadaman dari sistem water mist .....	34
2.5.5	Mekanisme transport.....	35
2.6	FDS .....	36
BAB 3 Metodologi Penelitian.....		38
3.1	Sistematika Penelitian.....	38
3.2	Prosedur Pengambilan Data.....	39
3.2.1	Pengambilan Data untuk Karakteristik dari nosel .....	39
3.2.1.1	Pengolahan satu nosel untuk menentukan diameter spray pada setiap ketinggian .....	41
3.2.2	Pengambilan Data Fluks Massa.....	42
3.2.3	Komputasional CFD dengan software fluent untuk Karakteristik dari spray nosel .....	44
3.2.3.1	Tahap Komputasional .....	46
3.2.4	Prosedur Pengambilan Data untuk Pemadaman Nyala Api Pada Pool Fire jenis bensin dan methanol .....	47
3.2.5	Simulasi pemadaman api dengan menggunakan FDS.....	49
3.2.5.1	Domain FDS .....	49
3.2.5.2	Geometri .....	50
3.2.6	Material Properties .....	52
3.3	Perangkat Eksperimen yang digunakan .....	52
3.3.1	Nosel Pembentuk Water mist.....	52
3.3.2	Sistem Pemipaan.....	53

3.3.3	Pipa Pembagi.....	54
3.3.4	Selang Hitam Bertekanan.....	54
3.3.5	Union Ferrule .....	54
3.3.6	Caps & Plug .....	54
3.3.7	Tabung Nitrogen dan Pressure Regulator .....	55
3.3.8	Pressure Vessel .....	55
3.3.9	Check Valve.....	55
3.3.10	Busa dan Tempat Busa.....	55
3.3.11	Timbangan .....	56
3.3.12	Termokopel .....	56
3.3.13	Wadah Bahan Bakar (Pool Fire) .....	57
3.3.14	Kamera.....	57
3.3.13	Flash.....	58
BAB 4	Hasil dan Analisa.....	59
4.1	Karakteristik Spray untuk Satu Nosel.....	59
4.1.1	Coverage dari Spray Satu Nosel .....	59
4.1.2	Fluks Massa untuk Satu Nosel.....	61
4.1.3	Verifikasi distribusi densitas hasil pengolahan citra dengan fluks massa .....	63
4.1.4	Dua Nosel.....	64
4.1.4.1	Analisis korelasi batas kuantitatif gray level untuk terbetuknya interaksi dua nosel.....	65
4.1.4.2	Jarak 50 mm Masing-Masing Dua Nosel.....	67
4.2	Analisis hasil simulasi Fluent untuk karakteristik spray nosel .....	71
4.2.1	Karakteristik untuk satu nosel.....	71
4.2.2	Karakteristik untuk Interaksi dua nosel .....	74
4.3	Pemadaman kebakaran pool fire .....	80
4.3.1	Karakteristik Pool Fire Bahan Bakar Bensin dan Methanol .....	80
4.3.2	Waktu Pemadaman Pool Fire pada Variasi Tekanan dan ketinggian dengan Menggunakan satu Nosel.....	82
4.3.3	Perhitungan kesetimbangan Energi pada Pemadaman Api Bahan Bakar Bensin.....	84

4.3.4 Efektifitas Pemadaman dengan Variasi Jarak Antara Dua Nosel.....	86
4.3.5 Interaksi Water Mist dengan Api.....	88
4.4 Simulasi FDS untuk Pemadaman Api Pool Fire.....	92
BAB 5 Penutup .....	98
5.1 Kesimpulan .....	98
5.2 Saran .....	98
DAFTAR REFERENSI .....	99
LAMPIRAN.....	102



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Klasifikasi spray air berdasarkan distribusi ukuran droplet .....	6
Gambar 2.2. Jenis Nosel Single fluid.....	8
Gambar.2.3 Jenis nosel Twin fluid nosel.....	9
Gambar 2.4. Skema ilustrasi nosel untuk pemadam kebakaran.....	10
Gambar.2.5. Contoh dari spray full cone,definisi dari sudut spray,panjang spray dan pembagian rezim .....	13.
Gambar.2.6. Skema pembentukan droplet pada nosel.....	14
Gambar.2.7. Klasifikasi proses Breakup liquid .....	15
Gambar 2.8 Pembentukan droplet air.....	16
Gambar.2.9 Rezim pemecahan droplet and peralihan yang cocok untuk Weber Numbers menurut Wierzba.....	17
Gambar 2.10 Free body diagram dari droplet.....	20
Gambar 2.11. Representasi dari sebuah citra digital, (a) koordinat pixel ,(b) bagi komputer, citra berupa susunan angka-angka intensitas.....	21
Gambar 2.12 Tahapan Pemrosesan Citra digital.....	23
Gambar 2.13 a: Contoh proses akuisisi gambar digital.....	24
Gambar 2.13 b: Proses pembentukan gambar digital.....	25
Gambar 2.13 Skematik proses kerja step by step gambit-CFD .....	26
Gambar 2.14 Pendaran sederhana dari droplet .....	25
Gambar 2.15 Skematik proses kerja step by step gambit-CFD .....	27
Gambar 2.16 Model Pool Fire sederhana .....	33
Gambar 2.17 Kecepatan terminal untuk partikel sferis terisolasi di udara stasioner STP.....	36
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	38
Gambar 3.2a Eksperimental set-up untuk satu nosel.....	40
Gambar 3.2b.Eksperimen set-up untuk interaksi dua nosel.....	40
Gambar 3.3 Kalibrasi antara citra dan kondisi sebenarnya.....	41
Gambar 3.4 Pengukuran daerah <i>coverage</i> pada ketinggian 50 mm dari discharge nosel .....	42
Gambar 3.5 Grafik gray value hasil dari Image Processing .....	42

Gambar 3.6. Foto Pengambilan Data Fluks Density.....	44
Gambar 3.7 Computationaol Domain Meshing pada gambit.....	46
Gambar 3.8 Eksperimental set-up untuk pemadaman api pool fire dengan satu nosel .....	48
Gambar 3.9. Eksperimental set-up untuk pemadaman api pool fire dengan satu nosel .....	49
Gambar 3.10 Layout mesh pada simulasi berukuran 1x1x1.2.....	50
Gambar 3.11 Layout simulasi pemadaman api dengan menggunakan 1 buah nosel.....	50
Gambar 3.12 Layout simulasi pemadaman api dengan menggunakan dua buah nosel .....	51
Gambar 3.13. Nosel Water mist.....	53
Gambar 3.14 Sistem pemipaan water mist .....	53
Gambar 3.15 konfigurasi nosel pada sistem pemipaan water misst .....	53
Gambar 3.16. Pipa Pembagi .....	54
Gambar 3.17. Selang Hitam.....	54
Gambar 3.18 Union Ferrule .....	54
Gambar 3.19 Caps & Plug .....	55
Gambar 3.20 Tabung Nitrogen dan regulator .....	55
Gambar 3.21 Pressure vessel .....	55
Gambar 3.22 Busa.....	56
Gambar 3.23 Timbangan .....	56
Gambar 3.24 Wadah bahan bakar .....	57
Gambar.3.25 Kamera canon EOS 500 D.....	58
Gambar.3.26 Flash 580EXII.....	58
Gambar.4.1 Gambaran spray coverage teoritis.....	59
Gambar.4.2 Grafik Pressure vs coverage hasil eksperimen dengan pengolahn citra .....	60
Gambar.4.3 Mean water mist volume flux and radial distance from nosel centerline.....	61
Gambar.4.4 Fluks massa untk kenaikan tekanan .....	62
Gambar 4.5 Grafik fluks massa dan hasil pengukuran .....	63
Gambar 4.6 Grafik (a) Pengolahan citra, (b) Pengukuran fluks massa, masing- masing diukur pada ketinggian 40 cm dari discharge nosel .....	64

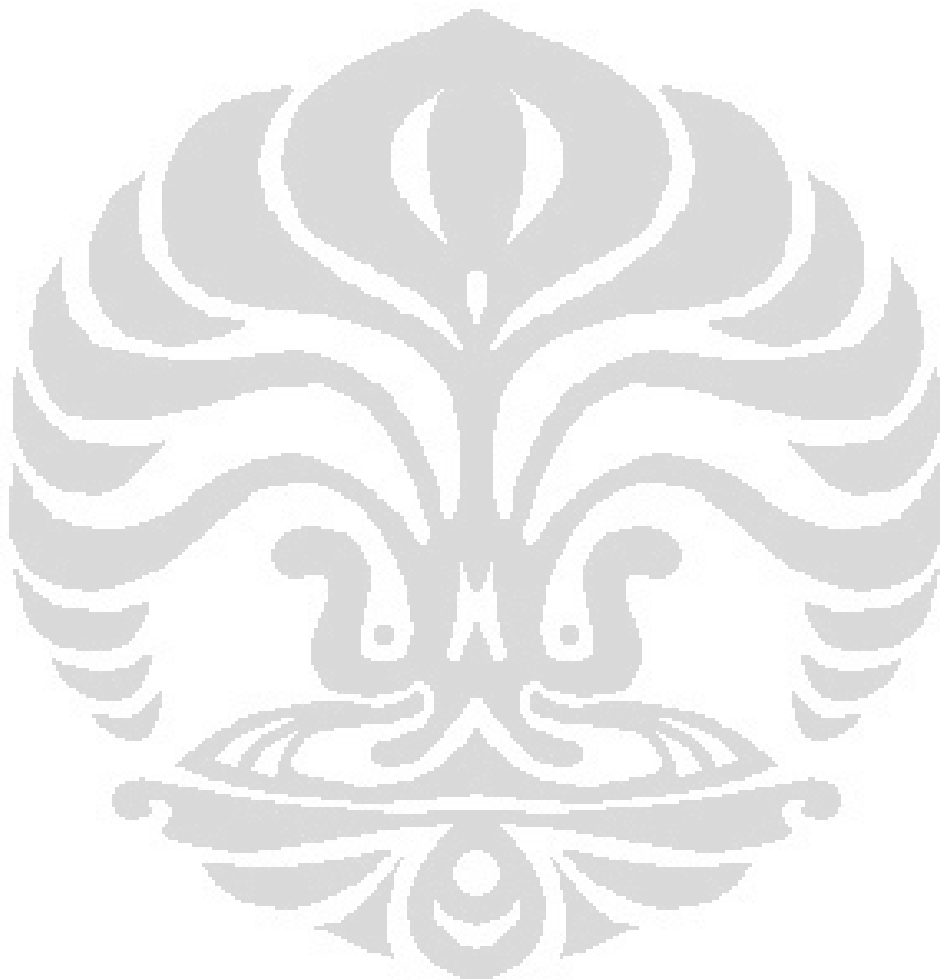
Gambar 4.7 Grafik (a) Pengolahan citra, (b) Pengukuran fluks massa komulatif, masing-masing diukur pada ketinggian 50 cm dari discharge nosel .....	64
Gambar 4.8 Perbandingan antara kurva satu nosel dengan kurva mulai terbentuknya interaksi .....	66
Gambar 4.9 Grafik korelasi kurva satu nosel dan kurva interaksi dua nosel.....	66
Gambar 4.10 Analisis kurva mulai terbentuknya interaksi dengan pendekatan gaussian.....	67
Gambar 4.11 Interaksi dari dua nosel, jarak masing-masing nosel 50 mm .....	69
Gambar 4.12 Daerah Mulai terbentuknya pola yang seragam pada jarak 50 mm antara nosel .....	70
Gambar 4.13 Hasil fluent pada Tekanan yang diberikan (a) tekanan 6 bar, (b) tekanan 10 bar,(c) tekanan 15 bar .....	73
Gambar 4.14 Path length vs particle velocity .....	74
Gambar 4.15 Distribusi kecepatan vertical pada variasi tekanan.....	74
Gambar 4.16 Skema ilustrasi dari aliran dua jet .....	75
Gambar 4.17 Interaksi dari dua nosel untuk variasi jarak, tekanan dan daerah penggabungan dari vector kecepatan lintasan droplet .....	79
Gambar 4.18 Visual Tinggi Nyala Api Bensin.....	81
Gambar 4.19 Temperatur bensin dan api pada saat aktivasi water mist pada tekanan yang berbeda.....	90
Gambar 4.20 Visualiasi pemadaman api <i>pool fire</i> pada variasi tekanan water mist .....	92
Gambar 4.21 Distribusi temperatur pada saat pemadaman <i>pool fire</i> dengan tekanan berbeda.....	94
Gambar 4.22 Temperatur bensin dan api pada saat aktivasi water mist pada tekanan yang berbeda (FDS).....	95
Gambar 4.23 Perbandingan grafik (a)hasil Eksperimen, (b) Hasil simulai FDS pada tekanan 6 bar.....	96



## DAFTAR TABEL

Tabe 2.1 Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap spray nosel.....	11
Tabel 2.2 Simbol-simbol yang umum untuk diameter.....	18
Tabel.2.3 Skala,Derajat keabuan dan Rentang Nilai Keabuan .....	23
Table 2.4 Pool Burning: Thermochemical and Empirical Constant untuk beberapa jenis bahan bakar organic.....	30
Tabel 3.1. Detail dari nosel full cone yang digunakan dalam eksperimen .....	39
Tabel 3.2 Parameter input untuk satu nosel .....	46
Tabel 3.3 Posisi penempatan koordinat untuk device.....	51
Tabel 3.4 Posisi peralatan pengukuran dengan tirai kabut air .....	51
Tabel 3.5 Material Properties Bensin.....	52
Tabel 3.6 Material Properties methanol.....	52
Tabel.4.1 Interpretasi relasi.....	65
Tabel 4.2 Daerah Mulai terbentuk <i>uniform pattern</i> untuk setiap jarak dua nosel yang berbeda pada.....	70
Table 4.3 Karakteristik pada bahan bakar bensin .....	82
Table 4.4 Karakteristik pada bahan bakar methanol.....	82
Tabel 4.5 Parameter water mist pada momentum yang berbeda .....	82
Table 4.6 Waktu pemadaman diameter <i>pool fire</i> bensin dan methanol diameter <i>pool fire</i> 6.5 cm.....	83
Tabel 4.7 Waktu pemadaman diameter <i>pool fire</i> bensin dan methanol diameter <i>pool fire</i> 10 cm.....	83
Tabel 4.8 Waktu pemadaman untuk jarak masing-masing nosel 5 cm.....	86
Table 4.9 Waktu pemadaman untuk jarak masing-masing nosel 10 cm.....	86
Tabel 4.10 Waktu pemadaman untuk jarak masing-masing nosel 20 cm.....	87
Tabel 4.11 Waktu Pemadaman untuk jarak masing-masing nosel 25 cm .....	87

Tabel 4.1. Theoretical Coverage at Various Distance .....	42
Tabel.4.2 Grafik fluks massa dan hasil pengukuran .....	46
Tabel 4.3 Daerah Mulai terbentuk <i>uniform pattern</i> untuk setiap jarak 2 nosel yang berbeda .....	60



## DAFTAR SIMBOL

Q	Volumetric flow rate (m <sup>3</sup> /s)
Pi	Tekanan operasi pada nosel (Pa)
D <sub>30i</sub>	Rata-rata diameter droplet
k	Propertis dari nosel sebagaimana k-factor [ $m^{3.5}kg^{-0.5}$ ]
$\rho$	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )
$\sigma$	Tegangan permukaan (N/m)
$\mu$	Viskositas dinamis (kg/ms)
u	Kecepatan jet (m/s)
D	Diameter dari nosel (mm)
l	Menunjukkan sifat dari liquid
$u_{rel}$	Kecepatan relative (m/s)
Re	Reynold Number
We	Weber Number
Oh	Ohnesorge Number
$We_a$	Weber number udara
d	Diameter droplet
$\rho_a$	Densitas Udara (kg/m <sup>3</sup> )
D <sub>10</sub>	Lenth Mean diameter
D <sub>30</sub>	Volume Mean diameter
D <sub>32</sub>	Sauter Mean Diameter
D <sub>v50</sub>	Volume Median Diameter
Y (d)	Volume kumulatif dari droplet
$\bar{d}$	Diameter rata-rata
n	Ukuran penyebaran droplet.
DmM	Diameter massa median
Ap	Daerah yang dilalui droplet
$C_D$	Koefisien drag
G	Derajat keabuan

# BAB I PENDAHULUAN

## I.1 Latar Belakang

*Water mist* atau kabut air saat ini telah menjadi teknologi yang menjanjikan. Dalam beberapa tahun terakhir meluas dari aplikasi laut saat ini mulai digunakan untuk perlindungan bangunan khususnya bidang proteksi kebakaran dan pendinginan permukaan bahan bakar [1]. Sejak versi pertama Protokol Montreal memperkenalkannya pada tahun 1987, ini telah menjadi mercusuar dari komitmen internasional untuk melindungi lapisan ozon bumi dari kerusakan lebih lanjut dengan fluorocarbons klorin (CFC). Komitmen ini telah mendorong hampir satu dekade pengujian untuk mengembangkan teknologi pencegah kebakaran alternatif untuk menggantikan klorin atau bromin berbasis api gas yang dikenal sebagai Halons. Oleh karena itu, penggunaan air untuk pemadaman kebakaran saat ini mendapat perhatian besar sebagai salah satu metode potensial untuk pengganti Halon 1301 [3]. Saat ini banyak industri yang menawarkan sistem *water mist* namun ada masalah yang perlu dipecahkan sebelum *water mist* bisa lebih banyak digunakan. Pemadaman dengan *water mist* merupakan proses yang cukup rumit dimana beberapa proses fisik yang berbeda terlibat didalamnya. Pemadaman tergantung pada seberapa baik air dapat mendinginkan permukaan bahan yang terbakar dan daerah tempat pirolisis berlangsung. Perilaku *water mist* dalam hal ini sangat mirip dengan sistem berbasis pemadaman dengan gas atau APAR, lebih lanjut *water mist* dapat menyerap radiasi, meningkatkan kemampuan air untuk memadamkan api. *Water mist* dapat memadamkan kebakaran pada skala lokal mirip dengan *sprinkler* air, dimana sejumlah *sprinkler* air kabut memadamkan api [1,7].

Ketika tetesan telah melambat, transportasi tetesan dikendalikan oleh aliran udara, yang diciptakan oleh api dalam ruangan. Penelitian eksperimental telah jelas menunjukkan bagaimana efek pemadaman api tergantung pada seberapa baik *jet* tetesan udara / air dapat menembus aliran api-diinduksi [1]. Selanjutnya, untuk sebagian besar sistem *water mist* komersial, tetesan air yang begitu besar (lebih besar dari 15mm) bahwa mereka dengan cepat akan jatuh ke

lantai, karena gravitasi. Masalah utama yang terkait dengan teknologi *spray* adalah kurangnya informasi yang dibutuhkan untuk benar-benar menentukan desain sistem pemadaman *water mist* yang efektif [3-4]. Performa pemadaman dengan *water mist* sangat tergantung pada posisi api, lokasi nosel dan distribusi dari pola *spray*[4]. Penggunaan satu nosel sering sekali tidak cukup untuk mencapai coverage yang diinginkan dan seringkali coverage yang kecil dihasilkan oleh nosel sulit untuk memadamkan api yang memiliki kapasitas besar sehingga jumlah nosel dan penempatannya menjadi pertimbangan pada mekanisme pemadaman api dengan *water mist*, karena memiliki efek signifikan pada pemadaman api yang lebih efektif. Oleh karena itu, perlu untuk mengembangkan metode yang lebih baik untuk menyelidiki proses ini[5-16].

## **1.2 Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari karakteristik makro *coverage* dari *spray full cone* yang dihasilkan oleh nosel *Fine Spray Hydraulic Atomizing* untuk satu nosel, dan menganalisis daerah terbentuknya interaksi dua nosel yang ditempatkan pada beberapa variasi jarak tertentu dengan menggunakan teknik pengolahan citra yang kemudian nilai ini akan diverifikasi dengan hasil simulasi fluent 6.3 untuk beberapa kriteria tertentu. Aliran *spray water mist* yang berasal dari interaksi dua nosel kemudian dianalisis dengan mendefinisikan tingkat abu-abu (*gray level 8-bit*) dari gambar dalam variasi ketinggian yang diukur dari *discharge* nosel untuk menentukan dimana mulai terbentuknya pola yang *uniform* atau seragam. Selain itu dilakukan pengukuran fluks massa untuk melihat distribusi volume pada tekanan dan ketinggian tertentu. Setelah mengetahui karakteristik dari satu nosel dan dua nosel, kemudian akan dilakukan aplikasi pemadaman api jenis *pool fire* dengan penempatan nosel sesuai dengan karakteristik yang kemudian data ini akan diverifikasi dengan hasil simulasi FDS 5.

## **1.3 Batasan Masalah**

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi;

1. Menggunakan nosel *Full Cone spray* dengan jenis *Fine Spray Hydraulic Atomizing Single Fluid* Nosel.

2. Simulasi menggunakan Fluent 6.3 untuk karakteristik spray dan FDS 5 untuk pemadaman api
3. Untuk dua nosel dipasang pada jarak 5 cm, 10 cm, 20 cm dan 25 cm.
4. Tekanan yang digunakan dalam pengambilan data adalah 1 bar, 3 bar, 6 bar, 10 bar, dan 15 bar
5. Gambar yang diolah dengan *Image processing* merupakan bidang (2D) dan *Software* yang digunakan untuk proses pengolahan adalah *Image J*.
6. Untuk aplikasi pemadaman api bahan bakar yang digunakan merupakan bensin jenis premium, dan methanol untuk pemadaman satu nosel.
7. Ukuran wadah bahan bakar memiliki diameter 6.5 cm dan diameter 10 cm dengan volume 30 ml untuk keduanya.
8. Tidak dilakukan perhitungan *pressure drop* dari sistem pemipaan dari alat eksperimen ini.

#### **I.4 Metodologi Penelitian**

Dalam penelitian ini, metode untuk mengumpulkan sumber data dan informasi adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur.  
Metode yang digunakan dalam pencarian studi literatur ini dengan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal, serta referensi artikel yang terdapat di internet.
2. Melakukan pengujian atau pengambilan data sesuai dengan prosedur percobaan yang telah ditentukan.
3. Melakukan pengolahan data dengan menggunakan *software Image J* dan *Software Fluent 6.3* sebagai software untuk simulasi, setelah data penelitian diperoleh dan menganalisis grafik hasil pengolahan data dan kemudian dilakukan proses simulasi pemadaman api dengan menggunakan FDS 5.
4. Dari penganalisisan grafik hasil pengolahan data maka dapat di buat suatu kesimpulan

## **I.5 Sistematika Penulisan**

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian dibawah ini :

**BAB 1** :Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan peneletian.

**BAB 2** :Pada bab ini diuraikan tentang studi literatur yang berkaitan dengan penelitian ini.

**BAB 3** :Pada bab ini berisi prosedur penelitian, daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

**BAB 4** :Bab ini berisi data-data hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian tersebut yang dibandingkan dengan hasil dari studi literature.

**BAB 5** :Bab ini berisikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini

## BAB II

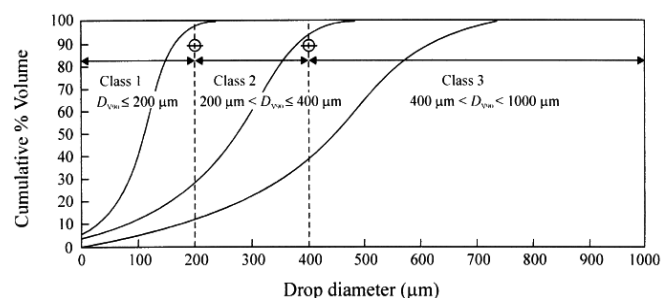
### LANDASAN TEORI

*Water mist* adalah sistem proteksi terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh api dengan mekanisme kerja seperti semprotan (*spray*) air, dimana ukuran *droplet*nya lebih kecil dari 1000  $\mu\text{m}$  (*microns*)[6]. Istilah *water mist* di ambil dari National Fire Protection Association Committee, NFPA 750, *Standard for Water mist Fire Protection Systems* 2000 edition, sistem pemadaman kebakaran dengan menggunakan *water mist* telah menunjukkan efektivitas yang baik dan bisa diaplikasikan untuk berbagai jenis kebakaran, selain itu penggunaan *water mist* tidak menyebabkan masalah lingkungan karena tidak beracun. [12]. Selama beberapa dekade terakhir, sistem *water mist* untuk pemadaman api telah digunakan untuk mengganti halons dan biasanya juga digunakan untuk melindungi ruang mesin, kapal, peralatan elektronik dan lain-lain [1,12]. Sebagai contoh, sistem *water mist* bisa digunakan untuk pemadaman api pada *pool fire* dimana *liquid* sulit untuk dipadamkan karena api pada *pool fire* tersebut mudah untuk terbakar kembali (*reignition*) dan sistem *sprinkler* konvensional tidak dapat memadamkan kebakaran jenis ini karena akan menyebabkan percikan dan menumpahkan bahan bakar sehingga api lebih besar[16].

*Water mist* telah banyak telah didefinisikan sebagai *spray* air di mana[6]:

1. 99% dari volume tetesan dengan diameter di bawah 1000  $\mu\text{m}$  (Dvorjetski dan Greenberg, 2004; Heskestad, 2003; NFPA 750,2003).
2. Diameter rata-rata adalah 80-200  $\mu\text{m}$  dan 99% dari volume di bawah 500  $\mu\text{m}$  diameter (Grant et al, 2000.)atau
3. Ukuran tetesan rata-rata di bawah 100 $\mu\text{m}$  (Lentati dan Chelliah, 1998).

Definisi ditujukan untuk membedakan sistem air kabut dengan *sprinkler*, diidasarkan pada ukuran tetesan [6].





**Gambar 2.1.** Klasifikasi *spray* air berdasarkan distribusi ukuran *droplet*  
(Sumber: *Fire Protection Handbook*, 18th ed.,1997, National *Fire Protection Association*, Quincy, MA )

Mawhinney dan Salomo mengklasifikasikan sistem *water mist* berdasarkan distribusi yang disajikan dengan bentuk pembagian dimana pesen *volume cumulatif* yang membedakan antara *droplet* yang kasar dan halus. Dari gambar 2.1 menunjukkan bahwa, untuk semprotan Kelas 1, dimana 90% dari volume terkandung dalam tetesan kurang dari 200  $\mu\text{m}$ , dan Kelas 2 Kelas 3 *spray* didefinisikan dengan cara yang sama bisa dilihat pada (gambar 2.1). Dalam aplikasinya, Kelas 1 dan Kelas 2 cocok untuk pemadaman kebakaran pada *pool fire* atau percikan di mana bahan bakar harus dihindari. Kelas 3 biasanya digunakan untuk pemadaman kebakaran dimana bahan bakar basah *fuel wetting* lebih ditolerasi seperti misalnya ketika menanggulangi kebakaran Kelas A[15].

## 2.1 Nosel dan Sistem Injeksi

Nosel (atau atomisers) digunakan untuk memecah aliran kontinu cair menjadi *spray* atau tetesan. Nosel banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti: injeksi bahan bakar pada mesin diesel, turbin gas dan roket, penyemprotan tanaman, dan pendinginan permukaan cairan bahan bakar,serta banyak lainnya.

Fungsi dasar dari nosel adalah:

1. Pengendalian aliran dari *liquid*
2. Atomisasi *liquid* menjadi butiran
3. Penyebaran tetesan dalam pola tertentu
4. Meningkatkan luas permukaan dari *liquid*
5. Membangkitkan momentum hidrolis

Berbagai aplikasi dan fungsi yang luas telah memunculkan berbagai desain untuk nosel sehingga tersedia secara komersial. Dalam aplikasi seperti cat semprot, keseragaman dari *spray* yang dihasilkan adalah hal yang terpenting, beda halnya dengan kebutuhan *spray* untuk tanaman pertanian, ukuran tetesan kecil harus dihindari karena dapat hanyut oleh angin. Sehingga perlu untuk mengetahui agar nosel mampu menghasilkan semprotan dengan kualitas yang baik ,d disesuaikan dengan kebutuhan dan bisa bekerja pada berbagai macam laju aliran *flow rate*[6].

Nosel yang biasanya digunakan salah satunya adalah jenis *single fluid* di mana energi kinetik dari fluida dimanfaatkan untuk *breakup* atau ada yang menggunakan *secondary fluid* (udara biasanya dikompresi) untuk mempercepat proses *breakup*.

Umumnya proses *breakup* terjadi setelah *liquid* meninggalkan nosel sebagai hasilnya terjadi aerodinamis drag atau ketidakstabilan hidrodinamik. Peran nosel hanya untuk menghasilkan sebuah *jet liquid* dengan turbulensi yang diperlukan dan profil kecepatan untuk mencapai *breakup* dengan cara yang diinginkan. Karakteristik *spray* yang dihasilkan oleh nosel tertentu bervariasi tergantung tekanan operasi yang diberikan.

## 2.1.1 Jenis Nosel Berdasarkan Mekanisme Kerjanya

### 2.1.1.1 Single-Fluid nosel

*Single fluid* dikenal sebagai simpleks atau Jenis Hidrolik. *Spray* yang dihasilkan dipengaruhi oleh tekanan air yang diberikan, berikut adalah persamaan 2.1 untuk proses ini:

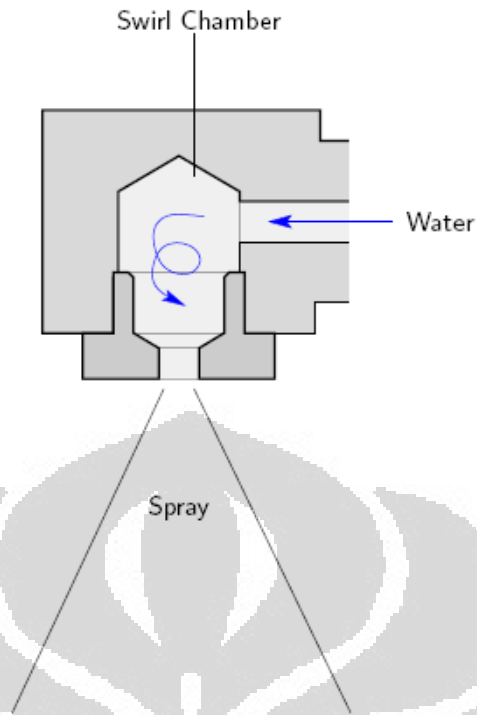
$$Q = k\sqrt{p_1} \quad (2.1)$$

$$\frac{D_{301}}{D_{302}} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0.3} \quad (2.2)$$

Dimana  $Q$  adalah *volumetric flow rate* air (m<sup>3</sup>/s),  $P_1$  adalah tekanan operasi pada nosel (Pa),  $D_{30i}$  adalah rata-rata diameter *droplet* yang dikorespondenkan dengan  $p_i$  dan  $k$  adalah propertis dari nosel sebagaimana  $k$ -factor. Satuan dari  $k$  adalah

$$k = \left[ \frac{m^3 / s}{\sqrt{kg / ms^2}} \right] = [m^{3.5} kg^{-0.5}] \quad (2.3)$$

Pada tekanan tinggi, hubungan antara ukuran *droplet* dan tekanan lebih kompleks daripada formula diberikan dalam Persamaan 2.2. Biasanya terjadi penurunan diameter secara signifikan dengan meningkatnya tekanan (Delavan, 2005; Husted et al, 2004.).



**Gambar 2.2.** Jenis Nosel *Single fluid*  
(Sumber: Robert Andrew Hart.2008)

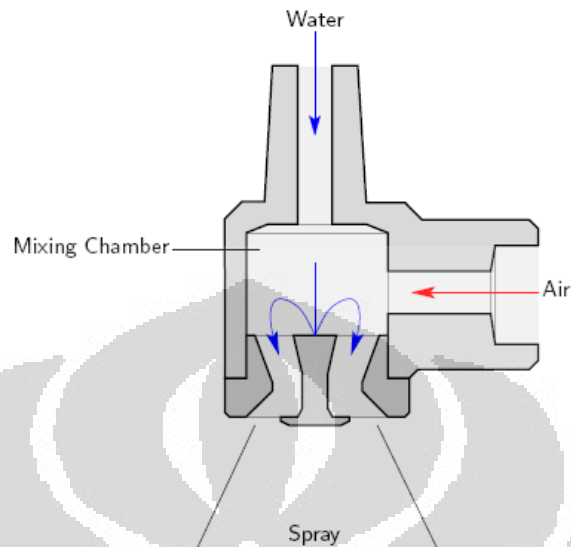
Beberapa jenis nosel untuk *single fluid*.

- ***Hollow cone–single fluid***: Terjadi gerakan berputar yang diinduksi kedalam dalam *liquid* di dalam nosel yang memproduksi *spray* di mana sebagian besar tetesan terkonsentrasi di tepi luar.
- ***Full cone–single fluid***: *Spray* terdistribusi lebih homogen tetesan didistribusikan secara melingkar.
- ***Flat spray–single fluid*** : Menghasilkan seperti lembar *spray* dengan distribusi yang relatif seragam, yang sangat cocok untuk melindungi peralatan dalam rongga sempit.

### 2.1.1.2 *Twin Fluid* Nosel

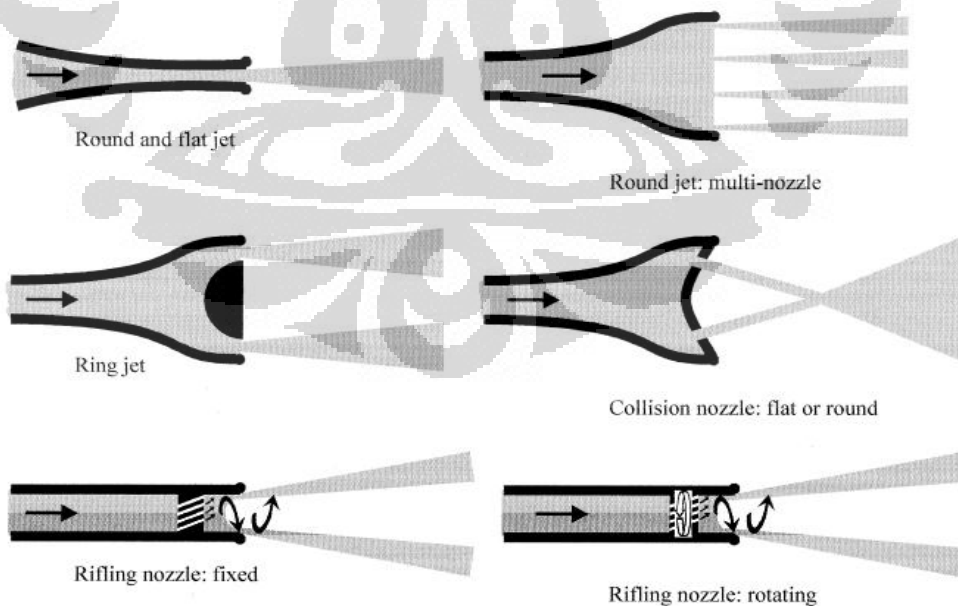
*Twin-fluid mist* nosel memproduksi kabut dengan dibantu oleh udara, juga dikenal sebagai 'udara atomising', 'duplex' atau 'pneumatik nosel'. Biasanya nitrogen, dicampur dengan air pada bagian chamber sehingga menghasilkan kabut yang lebih halus yang kemudian dikeluarkan melalui outlet tunggal atau ganda. Yang efektif pada *twin-fluid*, atomisasi bisa terjadi pada tekanan operasi yang rendah 5-6 bar, jika dibandingkan dengan nosel jenis *single fluid*, maka umumnya

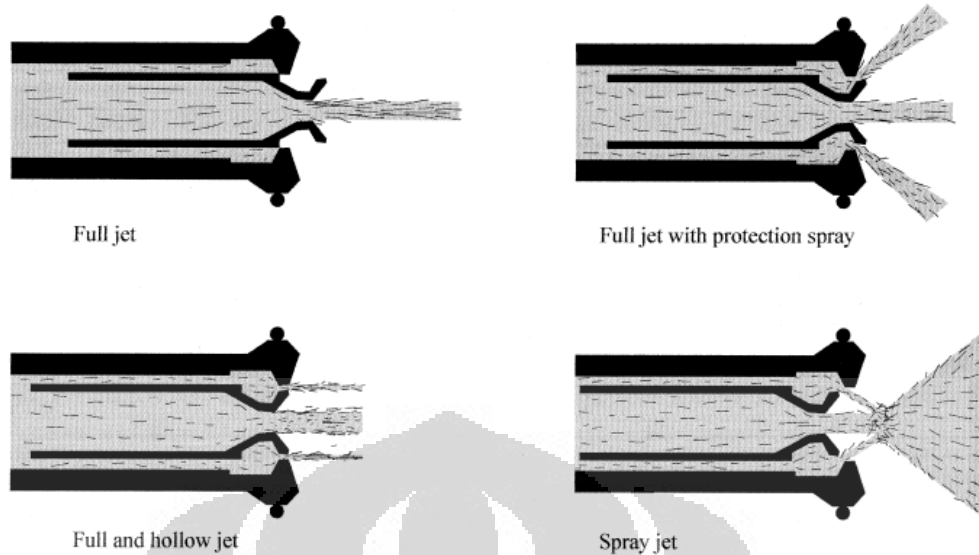
ukuran dari *droplet* yang dihasilkan oleh *twin-fluid* lebih kecil atau lebih halus, gambar 2.3 menunjukkan contoh dari nosel *twin fluid*[15].



**Gambar.2.3** Jenis nosel *Twin fluid* nosel  
(Sumber: Robert Andrew Hart.2008)

Dibawah ini digambarkan beberapa contoh nosel dan mekanisme kerjanya :





**Gambar 2.4.** Skema ilustrasi nosel untuk pemadam kebakaran  
(Sumber: *Alfred Huthig Publishing Company, Heidelberg, 1960*)

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap performa *spray* nosel[14].

- **Tekanan operasi** : Tekanan yang digunakan pada saat melakukan eksperimental, biasanya tekanan terukur yang ada pada pressure gauge.
- **Viskositas Fluida** : Viskositas dinamik *liquid* yang menolak perubahan bentuk atau susunan unsur-unsur pada saat aliran. Viskositas dari fluida merupakan faktor utama yang mempengaruhi pembentukan pola *spray* dan, sudut *spray* dan kapasitas.
- **Temperatur fluida**: Meskipun temperatur fluida tidak menyebabkan perubahan langsung terhadap kinerja *spray* nosel, namun sering mempengaruhi viskositas, permukaan ketegangan, dan gravitasi spesifik sehingga parameter tersebut mempengaruhi kinerja terhadap *spray* nosel.
- **Tegangan Permukaan (*Surface tension*)** : Permukaan *liquid* cenderung dianggap memiliki pengaruh yang paling kecil, dalam hal ini, mirip membran yang diberi tarikan. Setiap bagian dari permukaan *liquid* memberikan ketegangan pada bagian yang berdekatan atau pada benda lainnya yang berada dalam kontak *liquid* tersebut. Tegangan permukaan yang lebih tinggi dapat mengurangi sudut *spray*, terutama pada *hollow cone* dan *Flat fan spray*. Jika tegangan permukaan yang rendah memungkinkan untuk dioperasikan pada tekanan rendah untuk bisa melihat pola *spray*.

**Tab 2.1** Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap *spray* nosel

	<b>Peningkatan Terkanan Operasi</b>	<b>Peningkatan Gravitasi spesifik</b>	<b>Peningkatan viskositas</b>	<b>Peningkatan temperature fluida</b>	<b>Peningkatan tegangan permukaan</b>
<b>Kualitas pola</b>	Memperbaiki	Diabaikan	Memburuk	Memperbaiki	Diabaikan
<b>Kapasitas</b>	Meningkat	Menurun	.	..	Tidak ada Pengaruh
<b>Sudut <i>Spray</i></b>	Meningkat kemudian turun	Diabaikan	Menurun	Meningkat	Menurun
<b>Ukuran <i>Droplet</i></b>	Menurun	Diabaikan	Meningkat	Menurun	Meningkat
<b>Kecepatan</b>	Meningkat	Menurun	Menurun	Meningkat	Diabaikan
<b>Impact(tubrukan)</b>	Meningkat	Diabaikan	Menurun	Meningkat	Diabaikan
<b>Aus(wear)</b>	Meningkat	Diabaikan	Menurun	..	Tidak ada Pengaruh

. Peningkatan *Full cone* dan *Hollow cone*, untuk flas *spray* menurun

.. Tergantung dari fluida yang disemprotkan dan nosel yang digunakan

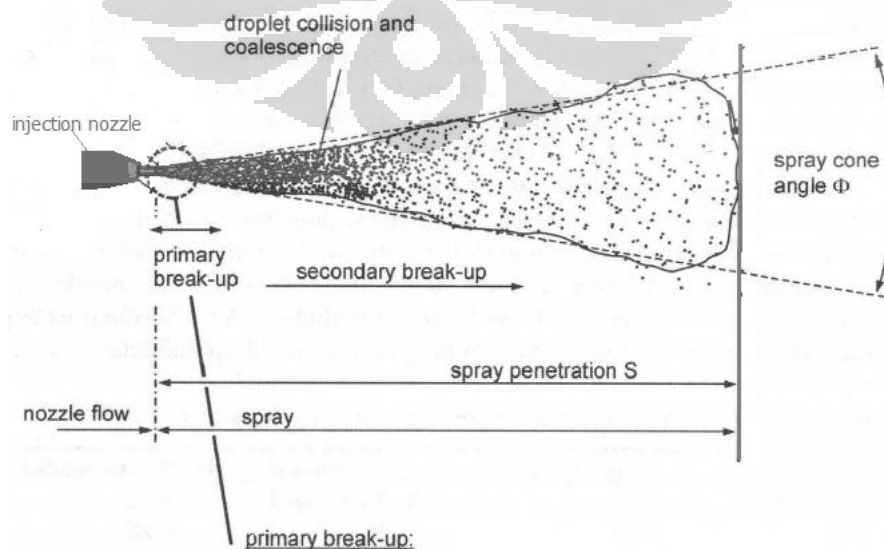
(Sumber: Engineer's guide to *spray* technology handbook.)

## 2.2 Dasar-dasar dari *Spray*

Konsep injeksi *liquid* yang melewati lubang kecil mungkin tampak seperti proses yang sepele, tetapi secara ilmu fisika fenomena pembentukan *spray* terbukti merupakan proses yang sangat kompleks. Meskipun analisis pembentukan *spray* memiliki disiplin ilmu sendiri, memahami beberapa aspek fisiknya merupakan suatu pembelajaran yang berharga. Dalam pembahasan ini akan dijelaskan tentang dasar-dasar *spray* secara umum, seperti kondisi pembentukan *spray*, pembentukan tetesan dan kondisi pemisahan *droplet*. Namun dalam penelitian ini akan dibahas lebih khusus pada *spray* untuk *water mist* yang menggunakan air sebagai fluidanya[13].

### 2.2.1 Rezim *Spray*

*Spray water mist* untuk pemadaman api biasanya merupakan jenis *full cone*. Ini berarti bahwa daerah pada injeksi inti *spray* lebih padat dari pada daerah luar. Lihat Gambar 2.5 untuk menggambar skematik *spray full cone*. karakteristik *Spray* dapat dibedakan menjadi beberapa kondisi yaitu mulai dari daerah pas keluaran *discharge* nosel terdapat inti cair yang masih utuh. Tidak jauh dari diameter keluaran nosel ada daerah yang disebut sebagai daerah *churning* dari aliran *liquid* terdiri dari ligament-ligamen. Pada daerah ini ukuran *droplet* sebanding dengan diameter nosel. Kemudian ligamen pecah menjadi *droplet* yang lebih kecil dengan jumlah yang lebih banyak pada zona rapat (*thick zone*) dimana volum dan fraksi masa dari fase *liquid* masih tinggi. Lebih lanjut *droplet* terus mengalami proses pemecahan (*breakup*) dan pada waktu bersamaan daerah tersebut menjadi *spray zone*. Liquid jet breakup setelah keluar dari discharge nosel karena adanya hubungan gaya permukaan cairan dengan permukaan udara ambient. Ketika *liquid jet* keluar dari nosel ke udara, gangguan dari permukaan *jet* akan bertambah karena adanya interaksi antara *jet* dengan udara ambient. Pertumbuhan gangguan ini menyebabkan kolom liquid pecah menjadi *droplet* segera setelah discharge. Jika diameter *droplet* melebihi ukuran kritisnya, *droplet-droplet* tersebut akan pecah menjadi ukuran yang lebih kecil. Proses ini merupakan proses *primary breakup* dan *secondary breakup*. Ketika jet air mengalami breakup, energy kinetik yang dimilikinya akan dibagi menjadi *droplet-droplet* yang lebih kecil ini sebabnya kecepatan *droplet* yang lebih jauh dari nosel akan lebih kecil karena terjadi jet loses akibat transfer energy [18].

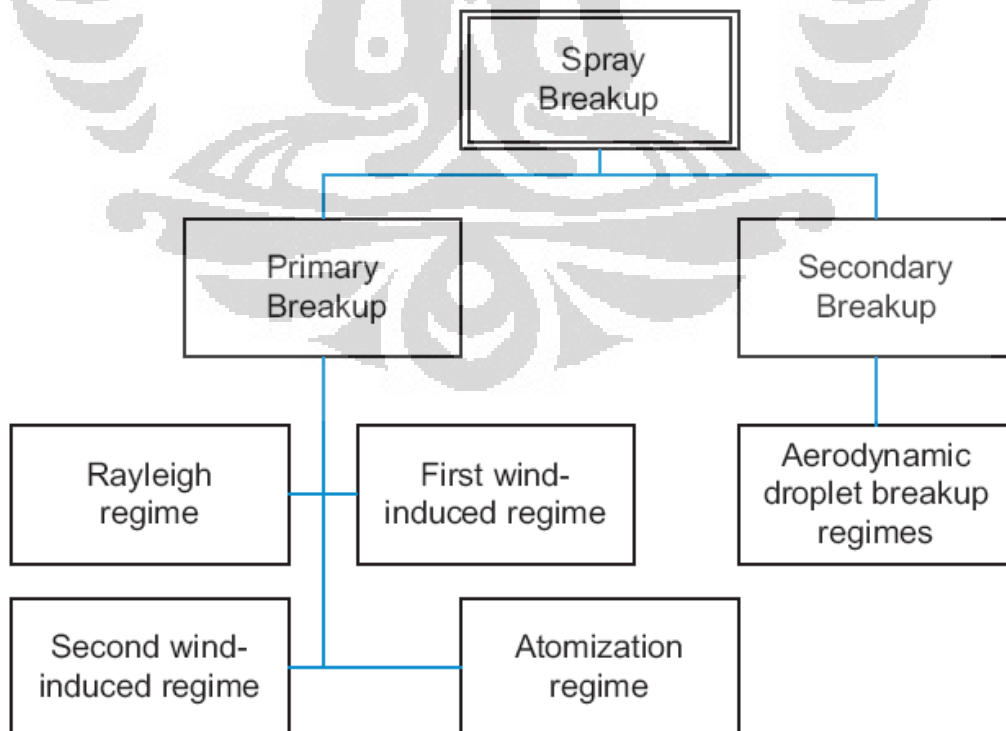


**Gambar.2.5.** Contoh dari *spray full cone*, definisi dari sudut *spray*, panjang *spray* dan pembagian rezim.  
(Sumber. Bekdemir, cemil. 2008)

### 2.2.1.1 Proses *Breakup*

Proses pemecahan *jet* cair digambarkan oleh dua mekanisme utama. Mekanisme yang pertama adalah pemecahan inti *liquid* yang masih utuh menjadi tetesan *droplet* disebut *primary breakup*. Mekanisme ini ditandai oleh ukuran tetesan dan *breakup length*, yang didefinisikan sebagai panjang dari inti *liquid* yang masih utuh (*Intact liquid core*). Mekanisme kedua adalah pecahnya *droplet* menjadi ukuran yang lebih kecil, yang disebut *secondary breakup*. Disini ukuran *droplet* merupakan parameter karakteristik. Keduanya *breakup length* dan ukuran *droplet* tergantung pada sifat *liquid* dan udara di sekitarnya. Dan yang penting proses ini tergantung dari kecepatan relatif antara *liquid* dan udara sekitarnya.

*Primary breakup* adalah mekanisme yang paling penting dalam sistem injeksi *water mist*, karena menentukan ukuran tetesan pada saat terjadi *breakup*, selain itu juga daerah ini merupakan titik awal untuk perpisahan lebih lanjut ke tetesan kecil (perpisahan sekunder). Untuk mengetahui lebih detail mekanisme *breakup* ditunjukkan pada gambar[13].





Gambar.2.6. Skema pembentukan *droplet* pada nosel

### 2.2.1.1.1 Primary Breakup

Mekanisme *primary breakup* fokus pemecahan didaerah inti cair utuh (*intact liquid core*) dan dapat dibagi menjadi empat rezim. Yakni, *rezim Rayleigh*, *first and second wind-induced rezim* dan yang terakhir adalah rezim atomisasi. Untuk membuat klasifikasi kualitatif untuk rezim-rezim tersebut *Ohnesorge* (Oh) diperkenalkan sebagai berikut:

$$Oh = \frac{\sqrt{We_l}}{Re_l} \quad (2.4)$$

Disini *Weber Number* dan *Reynolds Number* didefinisikan sebagai:

$$We_l = \frac{u^2 D \rho_l}{\sigma} \quad (2.5)$$

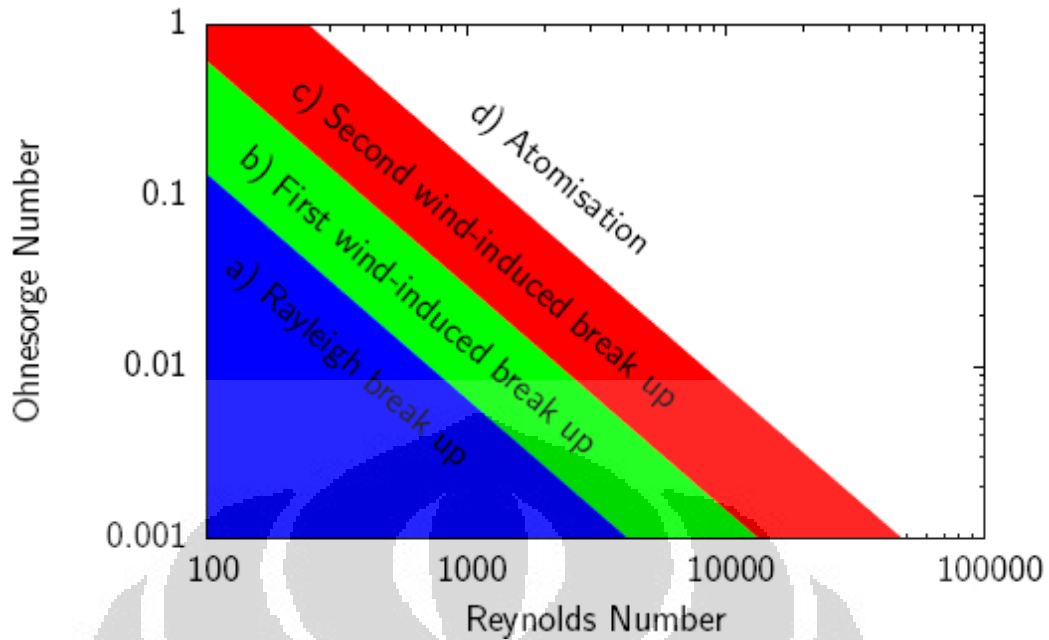
$$Re_l = \frac{u D \rho_l}{\mu} \quad (2.6)$$

$\rho$  adalah densitas,  $\sigma$  adalah tegangan permukaan,  $\mu$  adalah viskositas dinamis,  $u$  adalah kecepatan *jet* dan  $D$  adalah diameter dari nosel.  $l$  menunjukkan sifat dari *liquid*. *Weber Number* adalah rasio antara gaya inersia (atau aerodinamis) dengan tegangan permukaan. *Bilangan Reynolds* adalah rasio antara gaya inersia dan viskositas.

Apabila kita melakukan substitusi dari persamaan (2.5) dan (2.6) ke dalam persamaan (2.4) maka akan dihasilkan persamaan sebagai berikut:

$$Oh = \frac{\mu_l}{\sqrt{\sigma \rho_l D}} \quad (2.7)$$

Dengan demikian, *Ohnesorge number* adalah rasio antara viskositas dengan tegangan permukaan. Sehingga berbagai rezim dapat diklasifikasikan kedalam *Ohnesorge number*.



**Gambar.2.7.** Klasifikasi proses *Breakup liquid*  
(Sumber: Robert Andrew Hart.2008)

Pembagian rezim berdasarkan peningkatan kecepatan *jet liquid* :

1. **Rayleigh rezim breakup** : Terbentuk pada kecepatan *jet* rendah karena osilasi axisymmetric diprakarsai oleh kelembaman *liquid* dan tegangan permukaan dimana  $D_{droplet} > D_{nozzle}$ , *breakup length*  $L_{jet}$  akan meningkat jika kecepatan meningkat.

Daerah  $We_L > 8$  dan  $We_a < 0.4$  atau  $1.2 + 3.14Z^{0.9}$  dimana

$$We_a = \frac{U_L^2 \rho_a d}{\sigma}$$

2. **First wind-induced regime** : Kelembaman dari *liquid* dan tegangan permukaan dipengaruhi oleh gaya-gaya aerodinamis. Persamaan *Weber Number* pada rezim ini adalah :

$$We_a = \frac{u_{rel}^2 D \rho_a}{\sigma} \quad (2.8)$$

Disini  $u$  kecepatan relative antara *liquid* dengan udara lingkungan dan  $a$  merupakan representasi dari udara lingkungan

$$D_{droplet} \approx D_{nozzle} \quad L_{jet} > D_{nozzle}$$

Dan dengan peningkatan kecepatan  $u$  panjang *breakup length* akan berkurang.

Daerah *The first wind-induced* :

$$1.2 + 3.41Z^{0.9} < We_a < 13$$

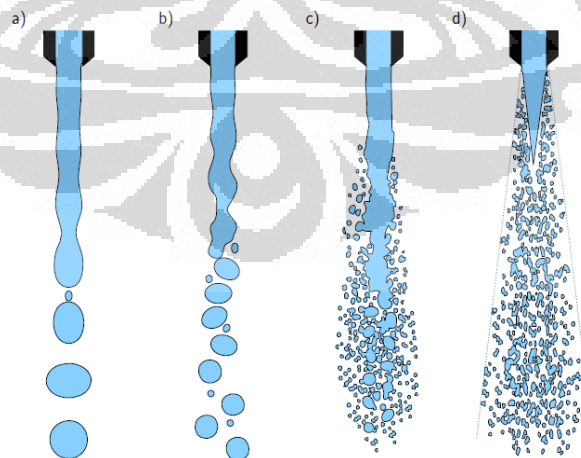
3. **Second wind-induced regime** : Aliran pada nosel adalah turbulen. Pertumbuhan tidak stabil dari permukaan panjang gelombang pendek menggelombang diprakarsai oleh turbulensi dan gaya-gaya aerodinamis. Dimana akan dihasilkan bahwa diameter *droplet* lebih kecil dari diameter nosel  $D_{droplet} < D_{nozzle}$ .

Daerah *Second wind-induced regime* :  $13 < We_a < 40.3$

4. **Atomization**: Proses *breakup* terjadi secara langsung dekat permukaan lubang nosel, sehingga panjang dari inti *liquid* utuh sama dengan nol atau  $L_{jet}=0$ , *spray* terbentuk segera setelah *jet* cair keluar dari nosel sehingga  $D_{droplet} < D_{nozzle}$

Daerah terjadinya atomisasi dimana :  $We_a > 40.3$

Dibawah ini merupakan beberapa rezim atau kondisi pada proses *breakup*:



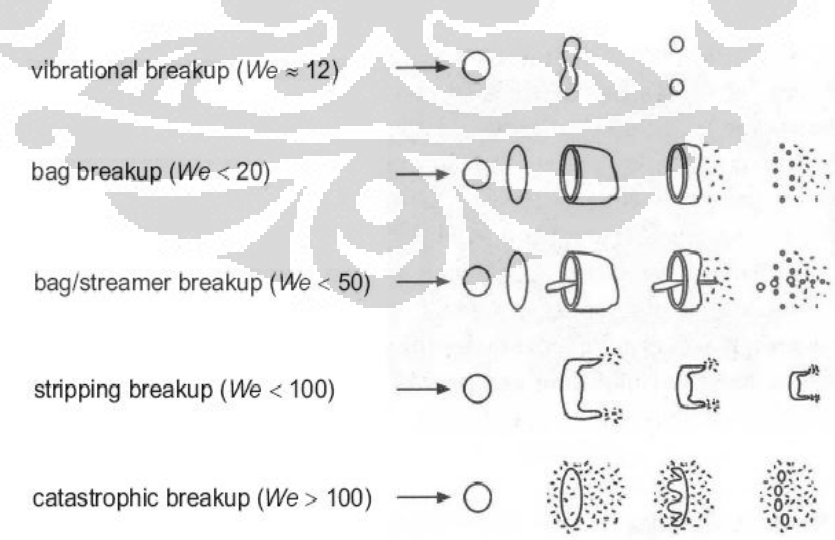
**Gambar 2.8** Pembentukan *droplet* air (a) *Rayleigh break-up*, (b) *First wind- induce break up*, (c) *Second wind- induce break-up*, (d) *Atomisasi*[15]  
(Sumber: Robert Andrew Hart.2008)

**a. Secondary breakup**

*Secondary breakup* adalah Pemecahan *droplet* menjadi *droplet* yang lebih kecil karena gaya-gaya aerodinamis yang disebabkan oleh kecepatan relatif antara tetesan *droplet* dengan udara sekitar. Pertumbuhan yang tidak stabil antara permukaan *liquid* dengan udara karena pengaruh gelombang yang timbul, pada waktu yang sama tegangan permukaan *liquid* melawan proses pemecahan *droplet*. Mirip dengan *first wind-induced regime* untuk inti *liquid* persamaan *Weber Number* yang digunakan untuk kondisi disini, namun perbedaannya bahwa diameter nosel  $D$  dari persamaan 2.8 hanya diganti oleh diameter *droplet* sebelum *breakup*  $d$ .

$$We_a = \frac{u_{rel}^2 d \rho_a}{\sigma} \tag{2.9}$$

Penurunan diameter  $d$  *droplet* meningkatkan gaya tegangan permukaan  $\sigma$ . Ini berarti bahwa kecepatan relatif penting, kecepatan relatif pada saat proses *breakup droplet* berlangsung, harus lebih tinggi.  $We_a$  dalam persamaan (2.6) digunakan untuk memisahkan *droplet* dalam *breakup regimes*. Nilai-nilai di mana untuk mengetahui transisi dari satu kondisi ke kondisi yang lain terjadi, ditentukan secara eksperimental. Sebuah gambaran yang merepresentasikan beberapa proses perpecahan tetesan yang berbeda ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



**Gambar.2.9** Rezim pemecahan *droplet* and peralihan yang cocok untuk *Weber Numbers* menurut Wierzba  
(Sumber. Bekdemir, cemil. 2008)

Pada *spray water mist* seluruh *droplet* mengalami *breakup regimes* pada waktu yang bersamaan. Daerah yang dekat dengan nosel memiliki *Weber Number* yang tinggi, jadi hampir proses *breakup* terjadi pada daerah keluaran nosel (*discharge* nosel). Lebih lanjut *Weber Number* pada daerah hilir lebih rendah dengan diameter *droplet* yang lebih kecil dan kecepatan relative yang lebih rendah oleh karena itu proses *breakup* yang jauh dari nosel sangat sedikit[13].

### 2.2.2 Definisi Diameter Rata-rata *Droplet*

Diameter rata-rata *droplet* merupakan hal penting untuk diketahui khususnya dalam analisi *spray*, biasanya diameter *droplet* digunakan untuk menggambarkan *spray* sesuai pada tujuan penggunaannya: misalnya, Sauter diameter rata-rata (SMD) adalah jumlah dari volume tetesan dibagi dengan jumlah area permukaan tetesan yang diberikan *spray* dan mendefinisikan tetesan yang memiliki luas permukaan rata-rata dan volume untuk seluruh *spray*[15]. Karena luas permukaan rasio volume menentukan tingkat di mana tetesan dapat menguap, itu juga relevan dengan perilaku *spray* bahan bakar dalam masalah pembakaran dan *spray* air yang digunakan dalam pemadaman api. Dalam beberapa kasus, ukuran dari berbagai tetesan *droplet* dan nilai *mean diameter* cukup untuk menggambarkan distribusinya. Sebuah persamaan standar untuk mendefinisikan diameter telah disarankan oleh Mugele dan Evans:

$$D_{ab} = \left( \frac{\sum N_i D_i^a}{\sum N_i D_i^b} \right)^{1/(a-b)} \quad (2.10)$$

Di mana nilai-nilai numerik dari a dan b tergantung pada fenomena diamati. Tabel 2.2 berisi contoh-contoh umum digunakan diameter.

**Tabel.2.2** Simbol-simbol yang umum untuk diameter

Mean diameter	Symbol	Application
Length	D <sub>10</sub>	Comparasions
Volume	D <sub>30</sub>	Hydrology: Volume Control

(Sumber: G. Grant, J. Brentonb, D. Drysdalec. 2000)

Sauter diameter rata-rata SMD biasanya didefinisikan dalam istilah dari diameter permukaan,  $d_s$

$$d_s = \sqrt{\frac{A_p}{\pi}} \quad (2.11)$$

Dan volum diameter  $d_v$ ,

$$d_v = \left( \frac{6V_p}{\pi} \right)^{1/3} \quad (2.12)$$

Dimana  $A_p$  dan  $V_p$  adalah luas permukaan dan volume partikel, masing-masing.  $d_s$  dan  $d_v$  biasanya diukur langsung. Persamaan diameter sauter untuk sebuah partikel yang diberikan:

$$SMD = D[3, 2] = d_{32} = \frac{d_v^3}{d_s^2} \quad (2.13)$$

Jika luas permukaan yang sebenarnya  $A_p$ , dan volume  $V_p$  partikel dikenal persamaan menyederhanakan lebih lanjut:

$$\frac{V_p}{A_p} = \frac{\frac{4}{3} \pi (d_{32}/2)^3}{4\pi (d_{32}/2)^2} = \frac{(d_{32}/2)^3}{3(d_{32}/2)^2} = \frac{d_{32}}{6} \quad (2.14)$$

$$d_{32} = 6 \frac{V_p}{A_p} \quad (2.15)$$

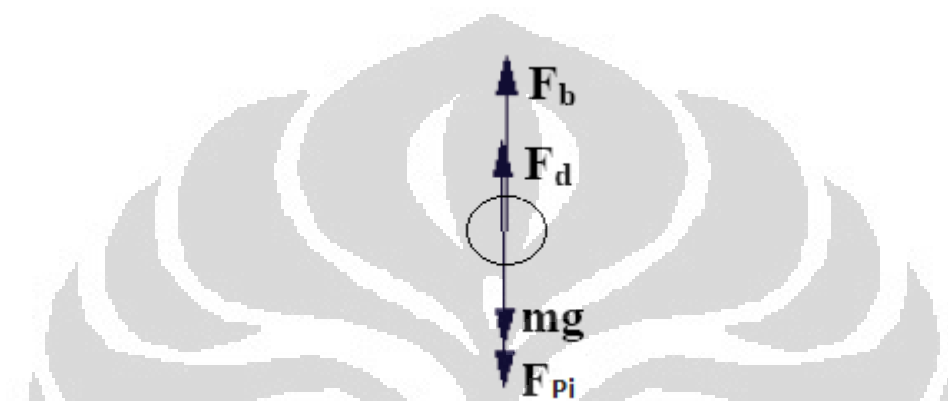
Ini biasanya diambil sebagai rata-rata dari beberapa pengukuran, untuk mendapatkan Sauter diameter.

Bentuk lain diameter yang umum digunakan adalah *Volume median diameter*, sering dilambangkan dengan  $D_{v50}$ , di sini artinya, setengah atau 50% dari total volume *spray* dibuat dari *droplet* yang lebih besar dari diameter ini dan setengah lainnya dibuat tetesan lebih kecil dari diameter ini[15].

### 2.2.3 Free Body Diagram dari droplet

FBD adalah gambaran dari gaya internal dan gaya eksternal yang bekerja pada sebuah droplet. Gambar 2.10 menunjukkan sketsa dari seluruh sistem (droplet yang diberi tekanan). Para FBD dalam gambar ini daftar empat gaya yang

bekerja pada bola, **F<sub>b</sub>**, **F<sub>d</sub>**, **F<sub>pi</sub>** dan **mg**. **F<sub>b</sub>** adalah gaya boyansi yaitu besarnya berat yang dipindahkan/berpindah, **F<sub>d</sub>** gaya tarik menolak percepatan gravitasi, **F<sub>pi</sub>** gaya yang diberikan pada tekanan awal atau besarnya momentum disebut juga perubahan tekanan dan **mg** merupakan percepatan gravitasi yang dihasilkan oleh droplet tersebut. Sehingga kita bias mendapatkan persamaan sebagai berikut dimana:



Gambar 2.10 Free Body diagram dari droplet

Gaya apung adalah berat fluida yang dipindahkan. Seperti yang volume droplet ditulis sebagai:

$$V_{sphere} = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (2.16)$$

Gabungan dari rumus-rumus tersebut sehingga diperoleh persamaan untuk gaya boyansi sebagai berikut :

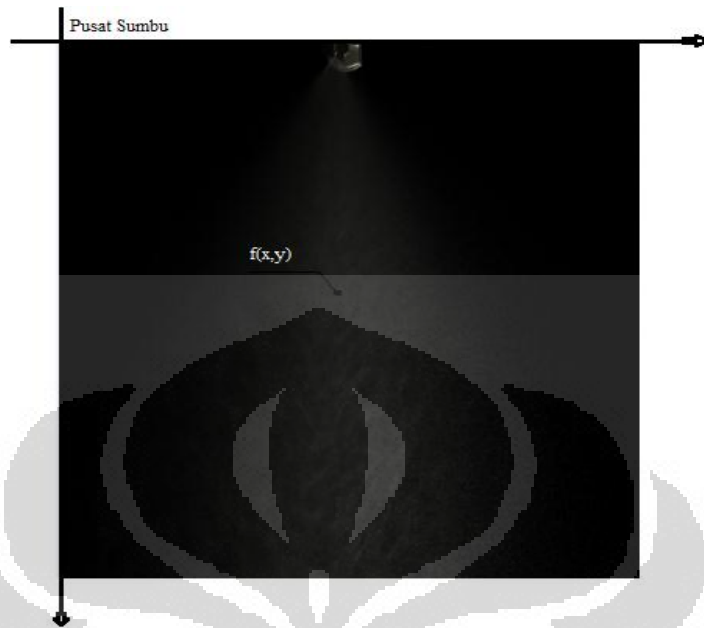
$$F_b = m_{df} g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{fluida} g \quad (2.17)$$

di mana  $g$  adalah percepatan gravitasi dan  $r$  adalah jari-jari droplet.

### 2.3 Pengolahan Citra

Sebuah citra [*digital image processing*] didefinisikan sebagai fungsi dua dimensi,  $f(x,y)$ , dimana  $x$  dan  $y$  adalah koordinat spasial, dan amplitudo dari  $f$  dari pasangan koordinat titik  $(x,y)$  disebut sebagai intensitas atau derajat keabuan dari citra pada titik tersebut. Ketika  $(x,y)$ , dan nilai dari  $f$  semuanya terbatas, dengan jumlah tertentu dengan nilainya masing-masing, maka inilah yang disebut sebagai citra digital.

Pengolahan citra digital artinya melakukan pengolahan citra dalam bentuk digital menggunakan komputer digital.



**Gambar 2.11.** Representasi dari sebuah citra digital, (a) koordinat *pixel*, (b) bagi komputer, citra berupa susunan angka-angka intensitas.

Pada gambar 2.12. (a) dan (b) terlihat sebuah citra digital, yang tersusun dalam bentuk raster atau *grid*. Setiap kotak yang terbentuk disebut *pixel* (*picture element*) dengan koordinat  $(x,y)$ . Setiap *pixel* memiliki nilai intensitasnya sendiri. Citra tersebut memiliki resolusi  $640 \times 520$ , artinya penyusun citra terdiri dari  $640$  *pixel* sejajar sumbu  $x$  dan  $520$  *pixel* sejajar sumbu  $y$  [19].

Derajat keabuan atau *gray level* merepresentasikan tingkat keabu-abuan atau kode warna. Kisaran nilai ditentukan oleh bit yang dipakai dan akan menunjukkan resolusi tingkat abu-abu (*gray level resolution*):

- 1 bit – 2 warna :  $[0,1]$  hanya memiliki 2 aras abu-abu yaitu hitam dan putih



- 4 bit – 16 warna :  $[0,15]$





- 8 bit – 256 warna : [0,255]

Masing-masing memiliki 8-bit



256 aras abu-abu

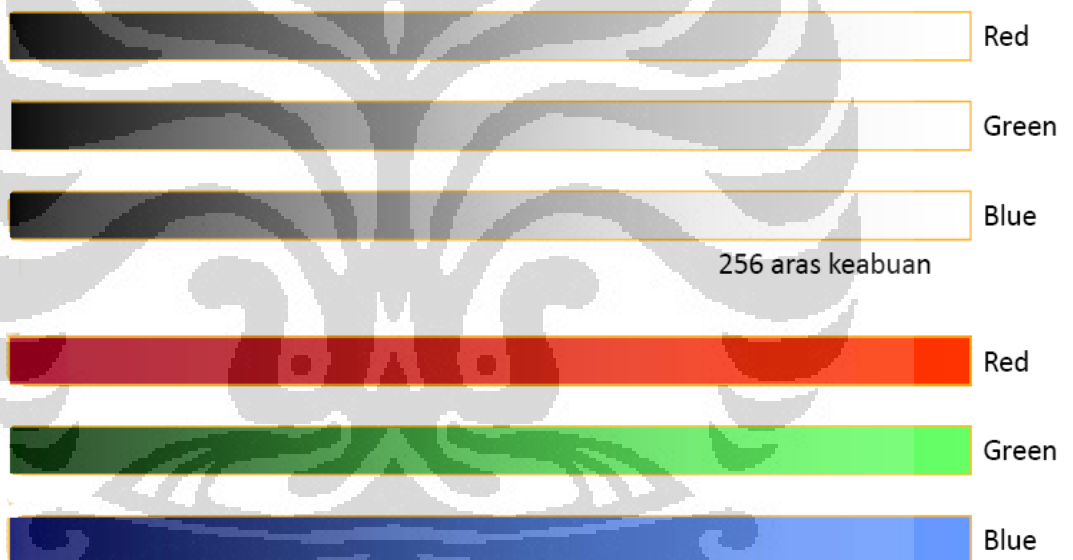


256 warna

- 1 bit – 16.777.216 warna (*true color*)

- Merah – Red (R) : [0,255]
- Hijau – Green (G) : [0,255]
- Biru – Blue (B) : [0,255]

Yang masing-masing memiliki 8-bit



### 2.3.1 Kuantisasi

Kuantisasi adalah suatu proses mendigitasi intensitas sinyal objek pada koordinat pixel yang disampel dengan kata lain, memberi nilai pixel tersebut. Dan pada kuantisasi dilakukan pembagian skala keabuan (0,L) menjadi G level yang dinyatakan dengan suatu harga bilangan bulat (integer), biasanya G diambil perpangkatan dari

$$G = 2^m \tag{2.18}$$

Dimana G : derajat keabuan m : bilangan bulat positif

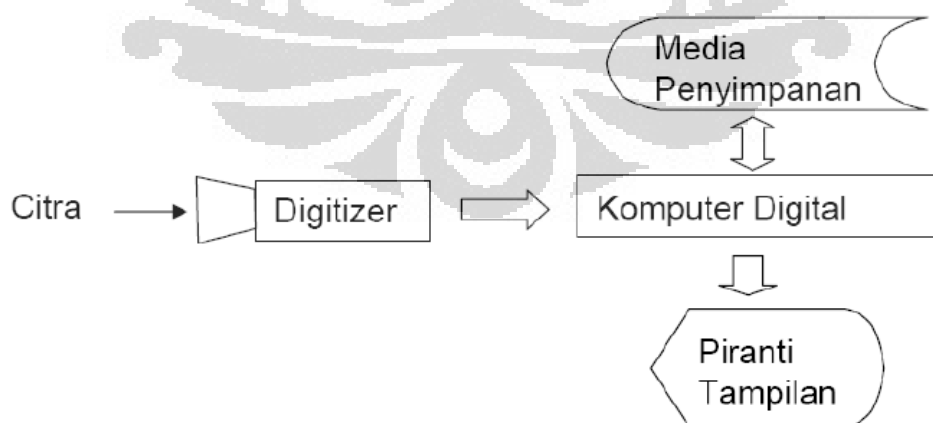
**Tabel.2.3** Skala, Derajat keabuan dan Rentang Nilai Keabuan

Skala keabuan	Rentang Nilai Keabuan	Pixel Depth
$2^1$ ( 2 nilai)	0,1	1 bit
$2^2$ (4 nilai)	0, sampai 7	2 bit
$2^4$ (16 nilai)	0, sampai 15	3 bit
$2^8$ (256 nilai)	0, sampai 255	8 bit

Digitizer (*Digital Acquisition System*) adalah sistem penangkap citra digital yang melakukan penjelajahan citra dan mengkonversinya ke representasi numerik sebagai masukan bagi komputer digital. Hasil dari digitizer adalah matriks yang elemen-elemennya menyatakan nilai intensitas cahaya pada suatu titik.

Digitizer terdiri dari 3 komponen dasar :

1. Sensor citra yang bekerja sebagai pengukur intensitas cahaya
2. Perangkat penjelajah yang berfungsi merekam hasil pengukuran intensitas pada seluruh bagian citra
3. Pengubah analog ke digital yang berfungsi melakukan sampling dan kuantisasi.

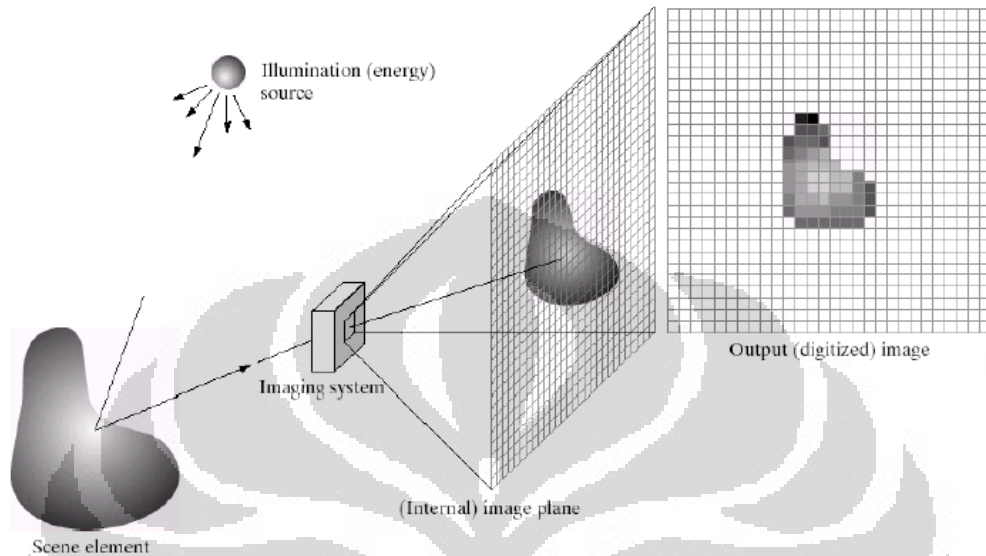


**Gambar 2.12** Tahapan PemrosesanCitra digital

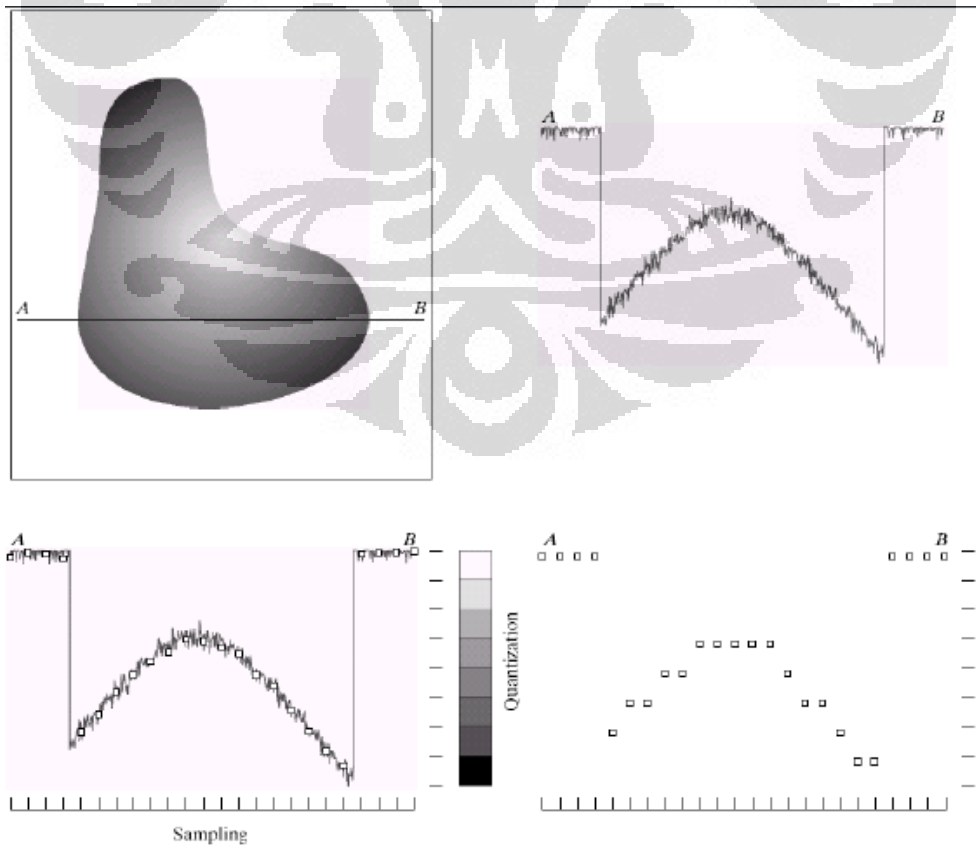
Komputer digunakan pada sistem pemroses citra, dan mampu melakukan berbagai fungsi pada citra digital resolusi tinggi. Piranti tampilan peraga berfungsi

mengkonversi matriks intensitas tinggi merepresentasikan citra ke tampilan yang dapat diinterpretasi oleh manusia.

Pada Gambar 2.14a dan 14.b merupakan contoh tahapan pemrosesan citra menjadi bentuk grafik berdasarkan nilai keabu-abuan.



**Gambar 2.13 a:** Contoh proses akuisisi gambar digital  
(Sumber: *image processing handbook*.2000)

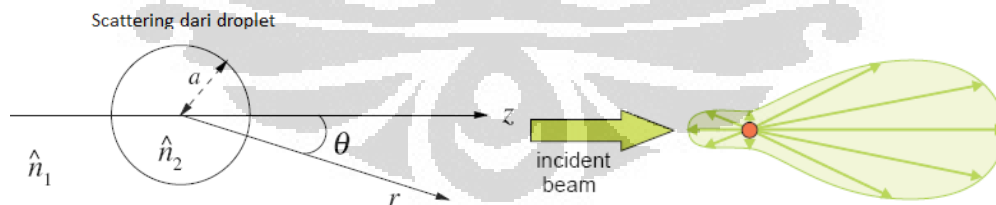


**Gambar 2.13 b:** Proses pembentukan gambar digital. (a) gambar kontinu, (b) garis pada gambar kontinu sepanjang A-B yang digunakan sebagai ilustrasi konsep sampling dan kuantasi, (c) sampling dan kuantasi (d) Garis gambar digital yang dicari.  
(Sumber: *image processing handbook*.2000)

sumber cahaya digunakan sebagai *lighting* sehingga kamera menyerap cahaya yang dipantulkan oleh benda, kemudian hasil pengambilan gambar dilakukan pengolahan pada komputer yang berupa gambar kontinu. Selanjutnya dari gambar kontinu tersebut diberikan garis sepanjang A-B untuk menghitung derajat keabuan pada daerah tersebut sehingga didapatkan kuantasi atau gambar digital pada daerah yang dilewati oleh garis A-B tersebut[15].

### 2.3.2 Scattering dari droplet

Scattering adalah proses dimana energi dilepaskan dari seberkas cahaya dan dipancarkan kembali oleh benda sehingga terjadi perubahan arah, fase, atau panjang gelombang. Pada aplikasi ini, scattering terjadi karena adanya indeks bias droplet yang berbeda dengan udara sekitarnya. Salah satu contoh yang umum digunakan adalah pendaran dari droplet yang mana jauh lebih kecil dari panjang gelombang cahaya yang dikenal sebagai Rayleigh scattering [25]. Namun untuk pendaran cahaya dimana ukuran partikel lebih besar daripada panjang gelombang dipecahkan dengan solusi Mie untuk masing-masing lingkungan. Pendaran dari droplet bukan hanya meredistribusikan energi dari berkas cahaya di arah yang berbeda, tetapi juga dapat mengubah keadaan polarisasi cahaya yang tersebar.



**Gambar 2.14** Pendaran sederhana dari droplet

Prinsip dari teknik scattering pada droplet yang disebabkan oleh gelombang cahayanya terdiri dari :

- a. difraksi
- b. refleksi

- c. pembiasan
- d. penyerapan

Sebuah deskripsi yang tepat dari hamburan cahaya oleh bola homogen diberikan oleh solusi lengkap dari persamaan Maxwell dirumuskan oleh Mie pada tahun 1908. Optik geometrik (hukum Snell) adalah cara sederhana untuk menjelaskan hamburan cahaya. Mie scattering untuk Intensitas cahaya persamaan sebagai berikut:

$$I_s = I_i \frac{9\pi^2 V^2}{2d^2 \lambda^4} \left( \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) (1 + \cos^2 \theta) \quad (2.19)$$

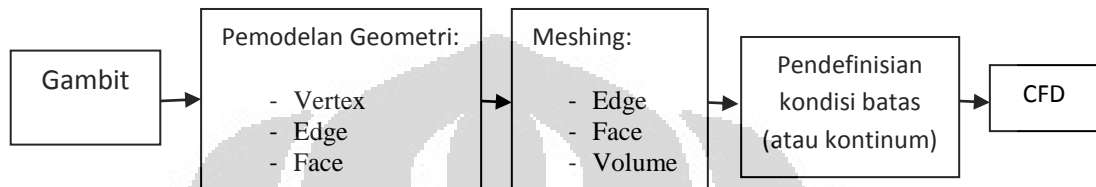
Dimana  $I_i$  intensitas cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya,  $I_s$  adalah intensitas kerapatan fluks cahaya yang dipendarkan oleh droplet,  $\lambda$  adalah panjang gelombang dalam medium,  $V$  adalah volume dari droplet,  $m$  adalah rasio dari indeks bias droplet dan udara, dan  $d$  adalah jarak dari pusat partikel ke titik sumber cahaya yang diberikan.

## 2.4 CFD Fluent

Dalam kehidupan sehari-hari banyak fenomena yang terjadi seperti contohnya fenomena fluida baik dalam bentuk gas maupun cair. Fenomena-fenomena fluida tersebut bisa terjadi dalam bentuk sederhana maupun dalam bentuk kompleks. Dalam mempelajari fenomena fluida yang kompleks tersebut dibutuhkan sebuah *tools* yang dapat memprediksi dan menganalisa aliran fluida yang terjadi pada suatu benda. Salah satu *tools* yang dapat digunakan untuk mempermudah dalam mempelajari fenomena fluida tersebut adalah *software CFD Fluent*. *Software CFD Fluent* ini dikembangkan agar dapat memenuhi kebutuhan akan ilmu yang dinamakan *Computational Fluid Dynamics* atau CFD. Ilmu CFD dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena-fenomena lain dengan menyelesaikan persamaan Matematika. Prediksi aliran fluida dengan CFD berdasarkan tiga hal yaitu model Matematika (Navier-Stokes), metode numerik, dan *tools* (*Pre-* dan *postprocessing, Solvers*).

### 2.4.1 Gambit

Gambit (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*) adalah alat *preprocessor* yang dibuat untuk membantu menciptakan model dan diskritisasi (*meshing*) yang selanjutnya dianalisis menggunakan program CFD. Penggunaan Gambit untuk pemodelan dan analisis CFD secara garis besar digambarkan oleh gambar 2.11.



Gambar 2.15 Skematik proses kerja *step by step* Gambit – CFD

### 2.4.2 Persamaan Transport

Fluent solver adalah sejumlah persamaan transport yang digunakan untuk memecahkan permasalahan yang ada. Pada bagian ini diberikan gambaran persamaan kontinuitas (umum), momentum, energi, spesies dan persamaan turbulensi[18].

Persamaan kontinuitas yang umum ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = S_m, \quad (2.20)$$

yang mana  $S_m$  adalah sumber massa dari tahap diskrit karena penguapan tetesan.

Persamaan momentum dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\vec{\nabla} p + \vec{\nabla} \cdot \bar{\tau} + \vec{F} \quad (2.21)$$

$p$  adalah tekanan statis,  $\bar{\tau}$  adalah tensor stres dan  $\vec{F}$  adalah gaya karena interaksi fase diskrit dengan fase kontinu. Gaya gravitasi dalam persamaan momentum diabaikan.

Persamaan energi pada fluent ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}(\rho E) + \vec{\nabla} \cdot [\vec{v}(\rho E + p)] = \vec{\nabla} \cdot \left[ (k + k_t) \vec{\nabla} T - \sum_j h_j \overline{J_j} + (\overline{\tau \cdot v}) \right] + S_e, \quad (2.22)$$

dimana panjang antara tanda kurung pada sisi kanan terdiri dari transfer energi karena konduksi, *species diffusion* dan *viscous dissipation*. Se adalah sumber energy *user source*. Energi E adalah didefinisikan sebagai berikut:

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{\vec{v} \cdot \vec{v}}{2}, \quad (2.23)$$

Di sinilah h adalah entalpi untuk gas ideal, dan ditulis sebagai penjumlahan pecahan kali massa entalpi spesies :

$$h = \sum_j Y_j h_j, \quad (2.24)$$

Pada persamaan *species transport* dalam simulasi spray setidaknya ada dua spesies yang berbeda, satu spesies dalam fasa gas (oksidator) dan satu lainnya adalah air, yang setelah penguapan masuk ke fase gas di tempat yang dapat bercampur dengan oksidator tersebut. N -1 persamaan transport untuk spesies N diselesaikan karena jumlah fraksi harus sama dengan satu. Persamaan transport untuk spesies ke-i adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_i + S_i, \quad (2.25)$$

Si adalah sebuah sumber dari fase cair tetesan yang akan diaktifkan bila terjadi penguapan. Juga sebagai *user define source* termasuk dalam istilah ini. Spesies transportasi karena Difusion dihitung melalui diffusion  $\vec{J}_i$ .

$$\vec{J}_i = - \left( \rho D_{i,m} + \frac{\mu t}{Sc_t} \right) \vec{\nabla} Y_i, \quad (2.26)$$

Di mana  $D_{i,m}$  adalah koefisien diffusi dari spesies dalam campuran.  $\mu t$  adalah viskositas turbulen, dinamis dan  $Sc_t$  adalah Schmidt number:

$S_{ct} = \frac{\mu t}{\rho D_t}$ , yang sama dengan 0,7 secara default.  $D_t$  adalah di turbulen diffusivity

Persamaan Turbulensi persamaan ditangani dengan persamaan transportasi untuk aliran bergolak dengan energi kinetik  $k$  dan laju disipasi  $\epsilon$ . Di sini  $k$ - $\epsilon$  model disukai karena itu lebih cocok untuk jet axisymmetric dari yang standar [18].

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \bar{\nabla} \cdot (\rho k \bar{v}) = \bar{\nabla} \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu t}{\sigma_k} \right) \bar{\nabla} k \right] + \mu_t S^2 - \rho \epsilon, \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \bar{\nabla} \cdot (\rho \epsilon \bar{v}) = \bar{\nabla} \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu t}{\sigma_\epsilon} \right) \bar{\nabla} \epsilon \right] + \rho C_1 S \epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}}, \quad (2.28)$$

### 2.4.3 Model Diskrit

Fluent menyediakan model yang khusus dikembangkan untuk simulasi spray, atau lebih umum digunakan untuk simulasi lintasan partikel. Ini adalah discrete Phase Model (DPM) dan didasarkan pada metode yang disebut Euler-Lagrange. Dalam domain komputasi ada dua tahap yang terpisah ini, yaitu fase kontinu dan diskrit (partikel). Persamaan transport dari bagian sebelumnya diselesaikan untuk fase kontinu saja dan gerakan partikel ditangani dengan perhitungan lintasan partikel. Melalui iterasi solusi interaksi massa, momentum dan energi antara kedua fasa dapat diselesaikani. Beberapa aspek penting dari model DPM disajikan dalam bagian ini.

Perhitungan lintasan partikel fase diskrit dilakukan dengan intekisi-kisi keseimbangan gaya pada tetesan tersebut. Keseimbangan gaya dalam notasi vektor ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial \vec{u}_p}{\partial t} = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D \text{Re}}{24} (\vec{u} - \vec{u}_p) + \vec{g} \left( \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} \right) \quad (2.29)$$

dimana pada bagian sebelah kiri adalah percepatan dari partikel, istilah dengan  $C_D$  adalah koefisien drag pada partikel.  $u$  dan  $u_p$  fase kontinyu (udara) dan kecepatan



partikel (m/s) dan  $p$  adalah fase kontinu dan kepadatan partikel (kg/m<sup>3</sup>)  $g$  adalah vektor gravitasi (m/det<sup>2</sup>) [18].

## 2.5 Pemadaman api pada *pool fire*

### 2.5.1 *Pool fire*

*Pool fire* merupakan suatu pembakaran yang terjadi di atas kolam horizontal yang bahan bakarnya berasal dari penguapan bahan bakar cair di mana momentum awalnya sangat rendah atau sama dengan nol. Suatu nyala api dari suatu *pool fire* bergantung pada besarnya luas permukaan bahan bakar (diameter *pool fire*). Selain itu, nyala api juga bergantung pada banyaknya bahan bakar yang telah mencapai titik mampu bakar yang tersedia dalam suatu *pool fire*, [The Health and Safety Executive (2002)]

**Tabel 2.4** *Pool Burning: Thermochemical and Empirical Constant* untuk beberapa jenis bahan bakar organik [18]

Material	Density (kg/m <sup>3</sup> )	$\Delta h_g$ (kJ/kg <sup>-1</sup> )	$\Delta h_c$ (MJ/kg <sup>-1</sup> )	$\dot{m}''$ (kg/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	$k$ (m <sup>-1</sup> )
Cryogenics					
Liquid H <sub>2</sub>	70	442	120.0	0.017 (±0.001)	6.1 (±0.4)
LNG (most CH <sub>4</sub> )	415	619	50.0	0.078 (±0.018)	1.1 (±0.8)
LPG (mostly C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	585	426	46.0	0.099 (±0.009)	1.4 (±0.5)
Alcohols					
Methanol (CH <sub>3</sub> OH)	796	1195	20.0	See text	See text
Ethanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	794	891	26.8	See text	See text
Simple organic fuels					
Butane (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	573	362	45.7	0.078 (±0.003)	2.7 (±0.3)
Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	874	484	40.1	0.085 (±0.002)	2.7 (±0.3)
Hexane (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	650	433	44.7	0.074 (±0.005)	1.9 (±0.4)
Heptane (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	675	448	44.6	0.101 (±0.009)	1.1 (±0.3)
Xylenes (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )	870	543	40.8	0.090 (±0.007)	1.4 (±0.3)
Acetone (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)	791	668	25.8	0.041 (±0.003)	1.9 (±0.3)
Dioxane (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> )	1035	552	26.2	0.018	5.4
Diethyl ether (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O)	714	382	34.2	0.085 (±0.018)	0.7 (±0.3)
Petroleum products					
Benzine	740	—	44.7	0.048 (±0.002)	3.6 (±0.4)
Gasoline	740	330	43.7	0.055 (±0.002)	2.1 (±0.3)
Kerosene	820	670	43.2	0.039 (±0.003)	3.5 (±0.8)
JP-4	760	—	43.5	0.051 (±0.002)	3.6 (±0.1)
JP-5	810	700	43.0	0.054 (±0.002)	1.6 (±0.3)
Transformer oil, hydrocarbon	760	—	46.4	0.039	0.7
Fuel oil, heavy	940–1000	—	39.7	0.035 (±0.003)	1.7 (±0.6)
Crude oil	830–880	—	42.5–42.7	0.022–0.045	2.8 (±0.4)
Solids					
Polymethylmethacrylate	1184	1611	24.9	0.020 (±0.002)	3.3 (±0.8)
Polyoxymethylene (CH <sub>2</sub> O) <sub>n</sub>	1425	2430	15.7		
Polypropylene (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>	905	2030	43.2		
Polystyrene (C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>	1050	1720	39.7		

### 2.5.2 Laju Pelepasan Massa Pembakaran dan Produksi Kalor *Pool fire*

Pada suatu *pool fire*, api yang dihasilkan dari proses pencampuran bahan bakar dan oksigen dengan sumber panas yang cukup akan mempertahankan nyala api apabila kesetimbangan elemen api tidak terganggu. Hal ini diakibatkan oleh adanya penguapan dan terjadinya suatu reaksi kimia bahan bakar cair akibat panas yang ditimbulkan oleh nyala api. Laju pembakaran akan sama dengan laju suplai gas *combustible* bahan bakar di mana laju pembakarannya ( $\dot{m}''$ ) dapat ditulis secara umum dengan persamaan[1]:

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{Q}_F'' - \dot{Q}_L''}{L_V} \quad (2.30)$$

di mana  $\dot{Q}_F''$  merupakan *heat flux* suplai dari api (kW/m<sup>2</sup>) dan  $\dot{Q}_L''$  adalah panas yang hilang atau *heat flux* dari permukaan bahan bakar.  $L_V$  merupakan panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan material *combustible* dalam fase gas (kJ/kg) atau untuk bahan bakar cair merupakan panas *latent* dari penguapan bahan bakar.

Babrauskas[18] merumuskan suatu persamaan untuk mengetahui besarnya *heat release rate* pada risiko api yang berasal dari pembakaran *pool fire* dengan diameter lebih kecil dari 0.2 meter ( $D < 0.2$  m) yaitu:

$$\dot{q} = \Delta h_c \dot{m}''_{\infty} (1 - e^{-\kappa\beta D}) \times A \quad (2.31)$$

di mana :

$\dot{q}$  = laju pelepasan panas (*heat release rate*) *pool fire* (kW)

$\Delta h_c$  = *effective heat of combustion* (kJ/kg)

$\dot{m}''_{\infty}$  = *asymptotic mass burning rate for large fire diameter* (kg/m<sup>2</sup> s)

$\kappa\beta$  = *empirical constant* (konstanta ditunjukkan pada Tabel 2.2 untuk beberapa jenis bahan bakar)

$A$  = luas permukaan bahan bakar (m<sup>2</sup>)

Untuk besarnya *mass burning rate* pada suatu *pool fire* maka dapat digunakan persamaan [18]:

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} \left(1 - e^{(\kappa\beta D)}\right) \quad (2.32)$$

di mana  $\dot{m}''$  adalah *mass burning rate pool fire* ( $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

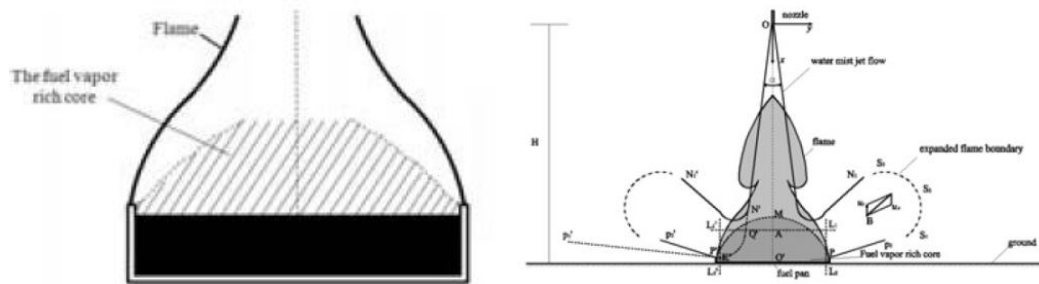
### 2.5.3 Interaksi water mist dengan *pool fire* dan karakteristik api

Karakteristik nyala api *pool fire* berbeda untuk jenis bahan bakar yang berbeda. Oleh karena itu, model *pool fire* dipelajari untuk analisis karakteristik api. Penelitian sebelumnya [11-14] menunjukkan bahwa, zona uap yang kaya bahan bakar berada pada dasar *pool fire*. Xiao [15] menggambarkan *pool fire* yang disederhanakan seperti model seperti ditampilkan di Gambar. Uap bahan bakar akan terkonveksi ketika air aliran jet *water mist* mulai jatuh pada permukaan api. Uap bahan bakar akan tetap terbakar dan terkonveksi ketika disemprot oleh jet *water mist*, dan bisa menyebabkan api membesar.

#### 2.5.3.1 Interaksi *water mist* dan *pool fire*

##### a. Interaksi antara *water mist* dan api

Aliran air jet kabut mulai berpengaruh pada api setelah dilakukan penyemprotan, awalnya terjadi penurunan ketinggian nyala api terlebih dahulu. Kemudian, *water mist* akan mencapai inti uap bahan bakar dan membuat bahan bakar uap terkonveksi. Seperti diperkenalkan dalam karya W. W. Bannister dkk [16], Pemadaman dengan *water mist* untuk bahan bakar akan mempengaruhi titik flash point. Oleh karena itu, uap bahan bakar akan terbakar seperti dalam proses difusi dan membentuk api membesar seperti bola. Difusi uap bahan bakar yang disebabkan oleh aliran jet *water mist* merupakan faktor kunci untuk *water mist* yang menghasilkan bahan bakar uap difusi. Air dari jet *water mist*, dengan momentum yang cukup, akan 'mendorong' uap bahan bakar keluar dari core-nya, dan menyebabkan ekspansi api.



Gambar 2.16. Model *pool fire* sederhana

b. Interaksi antara *water mist* dan bahan bakar panas

Interaksi antara *water mist* dan bahan bakar panas merupakan masalah penting dan kompleks. Bannister dkk [15] dengan sudut pandang bahwa efek azeotropik dapat serius meningkatkan intensitas api dan berfungsi untuk ekspansi api. Sebagaimana diperkenalkan, aplikasi *water mist* pada bahan bakar yang tidak larut dalam air, akan menghasilkan tingkat peningkatan penguapan bahan bakar, dan meningkatkan intensitas api. Oleh karena itu, setelah *water mist* mencapai permukaan bahan bakar, campuran dua cairan terbentuk. Sementara, keduanya air dan bahan bakar berkontribusi pada tekanan uap keseluruhan campuran. Artinya, tekanan uap total  $P_m = P_A^0 + P_B^0$ . Dimana  $P_A^0$ , mengacu pada tekanan uap jenuh dari murni air, dan  $P_B^0$  mengacu pada tekanan uap jenuh bahan bakar. Cairan mendidih ketika mereka tekanan uap menjadi sama dengan tekanan eksternal, yang merupakan 101,325 kPa. Oleh karena itu, campuran dari cairan bercampur dan mendidih pada suhu lebih rendah dari titik didih dari salah satu cairan murni. Tekanan uap gabungan untuk mencapai tekanan eksternal sebelum tekanan uap dari salah satu komponen individu sampai di sana. Ini berarti bahwa seperti campuran akan mendidih pada suhu yang kurang dari titik didih dari masing-masing cairan murni.

Dalam *pool fire* dikembangkan dengan baik, suhu permukaan bahan bakar yang dekat dengan titik didih. Campuran yang memiliki titik didih yang lebih rendah terbentuk setelah *water mist* mencapai permukaan bahan bakar, dan temperatur dari permukaan cairan akan lebih tinggi dari titik didih campuran

tersebut. Kemudian, bahan bakar mendidih dan bahan bakar menjadi uap lebih akan dihasilkan segera.

c. Momentum *water mist*

Eksperimental mengungkapkan bahwa, momentum dari *water mist* sangat berpengaruh terhadap efektifitas pemadaman api *pool fire*. Pertama aliran jet *water mist* mencapai inti bahan bakar kaya uap dan 'mendorong' uap bahan bakar keluar dari core. Sangat penting untuk menyadari bahwa, momentum *water mist* yang dibahas di sini adalah momentum *water mist* di daerah inti bahan bakar kaya uap. Di sisi lain, jika kecepatan awal *water mist* sama sementara menjaga jarak dari nosel ke permukaan bahan bakar menjadi pendek, momentum *water mist* meningkat.

#### 2.5.4 Mekanisme Pemadaman dari Sistem *Water mist*

Efektivitas *water mist* sebagai salah satu alat pemadam kebakaran dinilai sangat baik dalam pemadaman suatu kebakaran. Sejumlah mekanisme pemadaman dengan menggunakan *water mist* telah banyak diteliti untuk mengembangkan pemakaian *water mist*. Mekanisme ini bergantung pada tipe dari api yang dipengaruhi oleh jenis bahan bakar, ukuran api, dan sebagainya. Mawhinney et al.,[1] menggambarkan tiga mekanisme utama dan dua mekanisme sekunder dari pemadaman dan penindihan nyala api berbahan bakar hidrokarbon.

Mekanisme utama dalam pemadaman nyala api karena sistem *water mist*:

a. Pendinginan fase gas

Air memiliki panas laten yang sangat besar yaitu sekitar (2270 kJ/kg) dan penguapan air memiliki spesifik panas yang paling tinggi diantara gas yang ada di atmosfer bumi. Evaporasi air akan mengurangi temperatur udara lingkungan. Apabila hal ini terjadi dekat pada suatu nyala api maka akan mengganggu dinamika api. Pada suatu bahan bakar padat dan cair, hal ini merupakan suatu reaksi panas dari suatu api yang disebabkan oleh volatilisasi bahan bakar. Pengurangan temperatur ini juga menyebabkan pengurangan jelaga (*soot*) yang dihasilkan dari proses pembakaran. Hal tersebut sangat penting karena radiasi dari partikel jelaga

yang memiliki temperatur tinggi merupakan suatu bentuk dari reaksi panas yang dihasilkan dari api.

b. Pengurangan oksigen dan pengurangan penguapan material *flammable*

Pengurangan oksigen dapat terjadi secara lokal dan menyeluruh pada suatu sistem. Pengurangan oksigen pada daerah lokal terjadi ketika *droplet* air masuk ke dalam reaksi pembakaran. Evaporasi yang dihasilkan oleh *droplet* air akan mengganggu masuknya oksigen ke dalam suatu reaksi pembakaran sehingga menggagau kesetimbangan api.

c. Pendinginan permukaan bahan bakar

*Droplet* air yang masuk ke permukaan suatu bahan bakar padat yang terbakar akan mendinginkan permukaan bahan bakar tersebut. Hal ini mengurangi laju volatilisasi bahan bakar dan menghalangi penyebaran api.

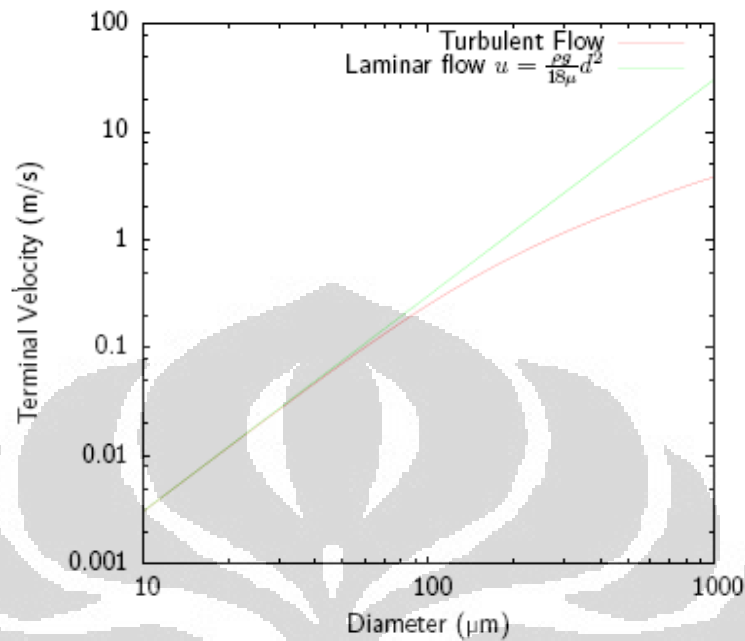
d. Pelemahan radiasi api dan efek kinetik

*Water mist* dan uap air mengurangi radiasi *heat flux* ke suatu objek yang dekat dengan api di mana juga membantu pencegahan penyebaran api ke bahan bakar yang belum terbakar. Pengurangan efek radiasi merupakan hasil dari pendinginan fase gas dan kenaikan konsentrasi penguapan air diantara api dan bahan bakar. Sedangkan *water mist* memiliki pengaruh efek kinetik dari pertumbuhan api kepada pemadaman api. Efek kinetik yang berpengaruh pada pemadaman api merupakan hasil dari pendinginan fase gas dan pengurangan oksigen untuk reaksi pembakaran.

### 2.5.5 Mekanisme transport

Sebuah aspek penting dari perilaku *water mist* yang tidak terkait dengan mekanisme pemadaman adalah kemampuan ditransport dan tersebar melalui udara. Untuk tetesan diameter kecil, besar drag aerodinamis relatif besar untuk gravitasi dan inersia. Sebagai contoh, kecepatan terminal tetesan air kira-kira sebanding dengan kuadrat diameter (lihat Gambar 3.6) dan karenanya jauh lebih rendah untuk tetesan kabut ( $d=100\ \mu\text{m}$ ) daripada tetesan *water mist* dengan ( $d=1000\ \mu\text{m}$ ). Hal ini memungkinkan kabut untuk tetap di udara untuk jangka waktu yang lama. Selanjutnya pengaruh aliran udara jauh lebih berpengaruh

tetesan yang kecil. Hal ini memungkinkan arus konveksi untuk membawa tetesan ke arah api, dan untuk turbulensi di udara yang menyebar pada seluruh volume.



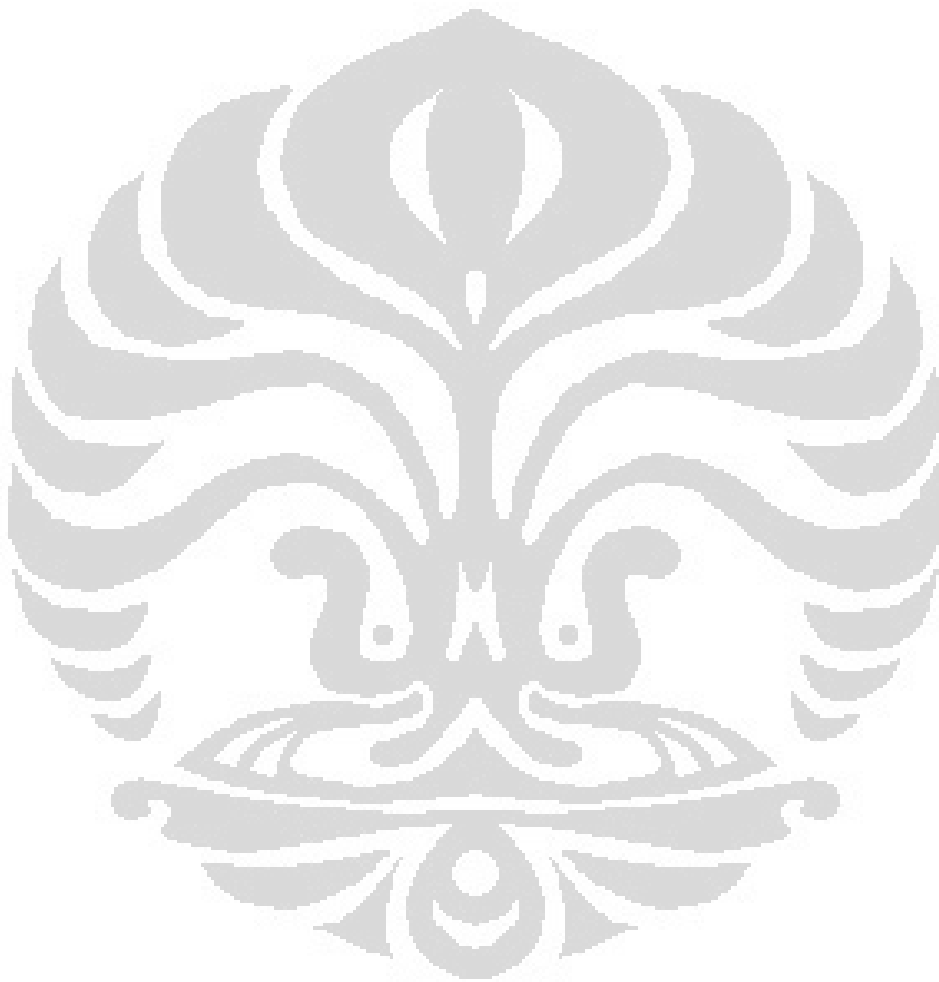
Gambar 2.17. Kecepatan terminal untuk partikel sferis terisolasi di udara stasioner pada STP

## 2.6 Fire Dynamic Simulator (FDS)

*Fire Dynamic simulator* (FDS) merupakan model *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk fire-driven fluid flow yang dikembangkan oleh National Institute of Standards and Technology (NIST). Dalam model ini, partikel Lagrangian digunakan untuk mensimulasikan pergerakan asap, semburan sprinkler maupun semburan bahan bakar. Software ini menyelesaikan secara numerik persamaan Navier-Stokes yang di peruntukkan untuk low-speed dan thermally-driven flow pada pergerakan asap dan perpindahan panas dari api [3]. Inti dari algoritmanya merupakan suatu bentuk eksplisit dari *predictor-corrector* dari kejadian yang akurat dalam satuan ruang dan waktu. Pendekatan turbulensi menggunakan *Large Eddy Simulation* dan memungkinkan untuk menampilkan *Direct Numerical Simulation* jika ukuran grid cukup baik.

*Combustion model* dengan simulasi FDS didasarkan pada *mixture fraction* dari material yang merupakan suatu jumlah skalar yang didefinisikan sebagai suatu fraksi gas yang dimasukkan pada file input yang diasumsikan sebagai bahan

bakar. Fraksi massa dari reaktan dan produk diperoleh dari fraksi campuran dengan menggunakan prinsip “*state relations*” yang merupakan kombinasi dari analisis dan pengukuran yang telah disederhanakan.



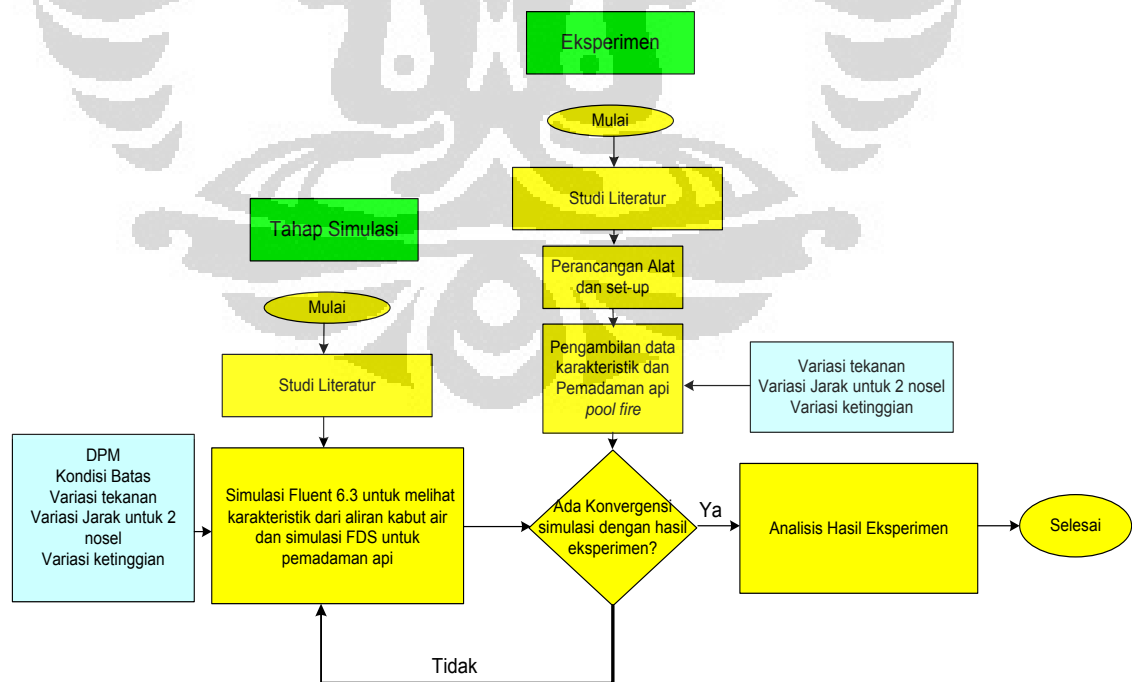


## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Sistematika Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan untuk menyelesaikan penelitian ini. Pertama adalah tahap eksperimen, tahap ini dimulai dari studi literature dari beberapa referensi seperti *handbook*, jurnal, browsing internet, seminar dll. Kemudian perancangan alat yang dilakukan sampai dengan manufakturing, setelah itu dilakukan pengujian dan pengambilan data untuk karakteristik dari satu nosel dan dua nosel dan pemadaman api *pool fire*. Hasil dari eksperimen ini kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi CFD yang mana menggunakan *Software* fluent 6.3 untuk karakteristik dari spray dan FDS 5 untuk proses pemadaman api dimana setiap parameter-parameter yang diberikan disesuaikan dengan eksperimen. Setelah hasilnya didapatkan kesesuaian antara hasil eksperimen dan simulasi selanjutnya dilakukan analisis antara keduanya. Berikut merupakan diagram alur penelitian pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Prosedur Pengambilan Data

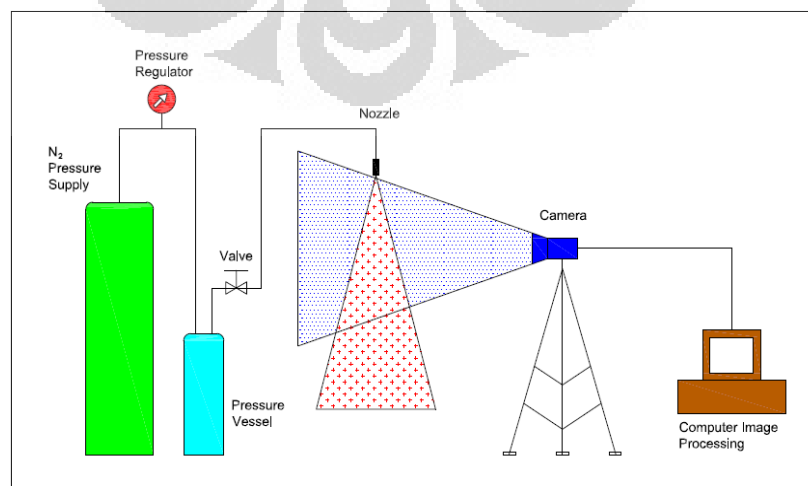
#### 3.2.1 Pengambilan Data untuk Karakteristik dari Nosel

Gambar 3.2a menunjukkan eksperimental set-up untuk pengukuran satu nosel dan gambar 3.2b. untuk interaksi dari dua nosel, jarak masing masing nosel diwakili oleh jarak 5 cm satu sama lain. Perlengkapan eksperimen terdiri dari dua nosel, sebuah tabung nitrogen sebagai suplai tekanan, sebuah *pressure vessel* sebagai reservoir, *pressure regulator* untuk mengontrol tekanan, dan valve yang digunakan dalam eksperimen ini. Untuk pemotretan menggunakan menggunakan kamera Canon Eos 500 d 12 mega pixel dengan menggunakan lensa makro, kemudian untuk pengambilan data dipasang kain hitam sebagai background yang posisinya 2 meter dari objek, menggunakan 3 *flash* sebagai *lighting* dengan spesifikasi 580EXII yang masing-masing ditempatkan 2 buah dibelakang objek dan 1 buah menempel pada kamera Canon sebagai master.

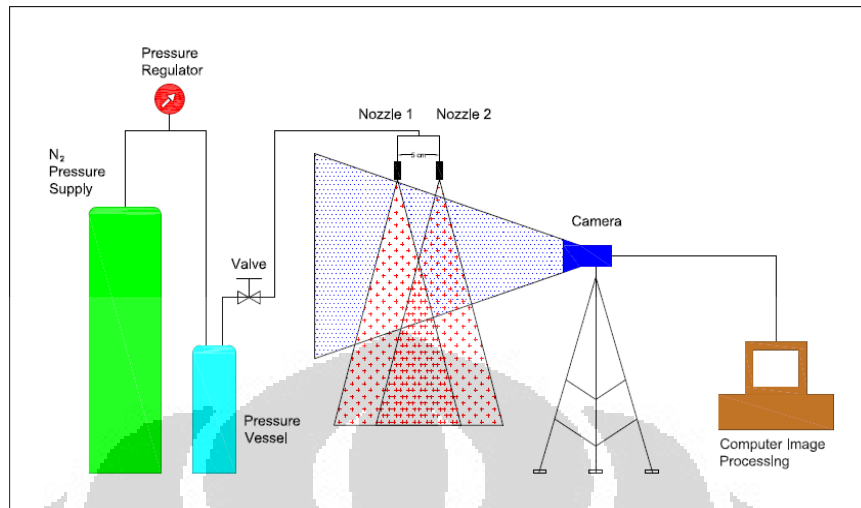
Tabel berikut merupakan jenis *discharge* nosele LNN dari *Fine Spray Hydraulic Atomizing Spray* yang menunjukkan karakteristik dari nosel, termasuk : Ukuran kapasitas, diameter orifice, Kapasitas(liter/jam) dan sudut *spray* untuk masing-masing tekanan yang diberikan.

**Tabel 3.1.** Detail dari nosel *full cone* yang digunakan dalam eksperimen.

Nosel Type	Capacity Size	Oriffice Dia. Nom (mm)	Core No.	Capacity* (liters per hour)					Spray Angle		
				2 bar	5 bar	10 bar	15 bar	20 bar	3 bar	6 bar	20 bar
LNN	1.5	0.51	216	4.8	7.6	10.8	13.2	15.3	65 <sup>0</sup>	70 <sup>0</sup>	72 <sup>0</sup>



**Gambar 3.2a** Eksperimental set-up untuk satu nosel.



**Gambar 3.2b.** Eksperimen set-up untuk interaksi dua nosel.

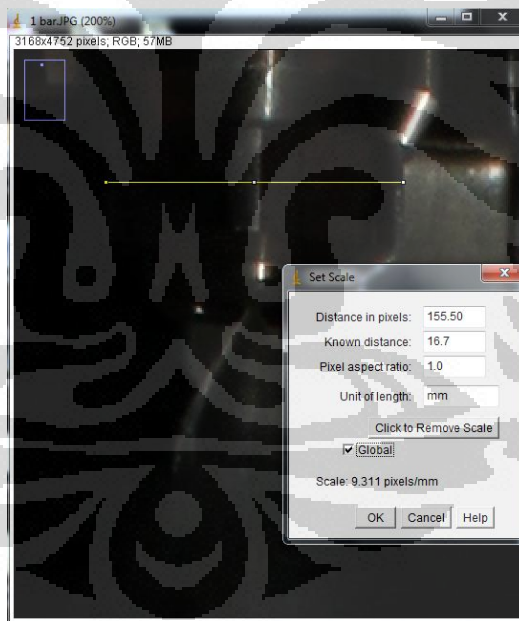
Prosedur pengambilan data berdasarkan urutannya adalah:

1. Menyiapkan set-up alat untuk pemotretan, mulai dari pemasangan dua buah *flash* pada bagian belakang sebelah kiri dan kanan sebagai *lighting* dan trigger *flash* pada bagian kamera background, dan *lighting* yang tepat agar pemotretan objek *water mist* berjalan dengan baik.
2. Mengkoneksikan kamera digital dengan komputer sehingga bisa dilakukan pengaturan pengambilan foto pada komputer dan untuk mempermudah pengambilan data.
3. Menginstall *software* yang dikeluarkan oleh Canon, agar bisa dilakukan pengaturan pada komputer.
4. Mengatur nilai *shutter speed*, *ISO*, dan *diaphragma* sesuai dengan *Exposure value* (EV) yang diinginkan.
5. Masukkan air kedalam *pressure vessel*, sampai batas yang telah ditentukan. lalu tutup dengan kencang *pressure vessel* tersebut.
6. Memasang nosel dan mengatur variasi sesuai dengan yang diinginkan.
7. Buka tekanan dengan *pressure regulator* sampai tekanan yang diinginkan.
8. Kemudian melakukan pengambilan data, sesuai dengan data yang dibutuhkan yaitu untuk 1 nosel dan untuk dua nosel.

### 3.2.1.1 Pengolahan satu nosel untuk menentukan diameter *spray* pada setiap ketinggian

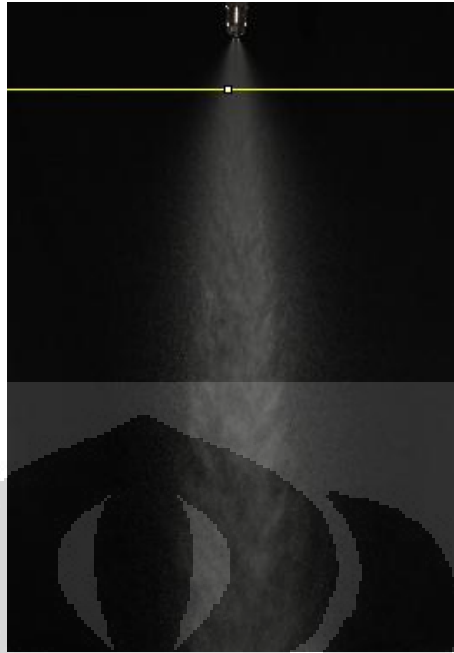
Pengambilan data menggunakan kamera Canon 12 Mega Pixel dengan lensa Makro dengan shutter *Speed* 1/500 s, Diaphragma 11, dan ISO 200, sehingga jika merujuk nilai EV (*Exposure Value*) maka nilai ini sekitar 19 EV. Pemotretan dilakukan pada jarak 1,23 m dari objek yang di foto. Berikut merupakan contoh pengolahan untuk menghitung diameter atau *coverage area* dari *spray* pada tekanan 1 bar dengan ketinggian dari nosel 50mm atau 5 cm.

1. Melakukan kalibrasi antara citra dengan kondisi sebenarnya. gambar 3.3 menunjukkan garis kuning yang membentang pada diameter luar nosel dilakukan untuk mengkalibrasi pada daerah nosel dimana panjang sebenarnya nosel adalah 16.7mm. Nilai ini yang kemudian akan merepresentasikan terhadap ukuran citra dengan kondisi sebenarnya.



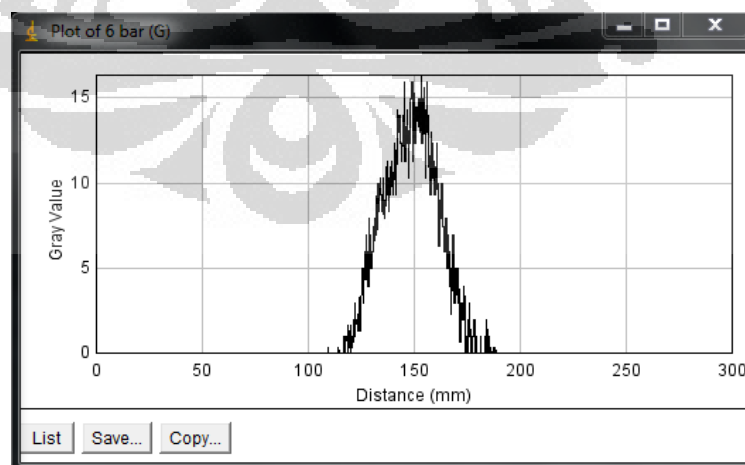
Gambar 3.3 Kalibrasi antara citra dengan kondisi sebenarnya

2. Pengukuran daerah *coverage* pada ketinggian 50 mm dari *discharge* nosel. Gambar 3.4 menunjukkan bahwa garis kuning yang memanjang merupakan representasi dari daerah yang akan dihitung atau diolah nilai *gray level*nya.



**Gambar 3.4.** Pengukuran daerah *coverage* pada ketinggian 50 mm dari discharge nosel

3. Menganalisis grafik digital hasil kuantisasi pada gambar 3.5. Grafik tersebut pada sumbu x merupakan nilai distance (jarak) dan pada sumbu y nilai *gray value* (nilai keabu-abuan) dari sinilah akan dihitung selisih dari batas minimum dan batas maksimum dari *gray value* yang ada pada gambar tersebut. yaitu nilai *gray value* dimana nilai tersebut akan naik dan nilai yang akan turun sehingga akan didapatkan diameter atau *coverage area* dari *spray* pada ketinggian tersebut



**Gambar.3.5** Grafik *Gray value* hasil dari *Image processing*

### 3.2.2 Pengambilan Data Fluks Massa

Pengambilan data fluks massa *water mist* 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 *pressureregulator* 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 3.6.** Foto Pengambilan Data Fluks *Density*

### 3.2.3 Komputasional CFD dengan software fluent untuk Karakteristik dari spray nosel

Aspek Komputasi CFD dengan menggunakan software fluent memiliki beberapa aspek dan tahapan dalam pengerjaannya.

No	Aspek Metodologi	Uraian
1	Formulasi masalah	Pengembangan skema komputasi ( <i>computational scheme</i> ) model aliran 3D pada DPM (Discrete Phase Model), dengan menggunakan solid cone pada variasi ketinggian yang berbeda.
2	Model Komputasi dan formulasi matematika	Model Komputasional: -Model turbulensi: k- $\epsilon$ standar, Euler-Lagrange untuk DPM
3	Prosedur numeric dan eksekusi	Algoritma : DPM (Discrete Phase Model) Eksekusi : simulasi tiga dimensi dengan menggunakan aplikasi software CFD
4	Analisis hasil dan Interpretasi	Komparasi, verifikasi dan validasi

	skema komputasi dengan data eksperimen
--	--

Tahapan pengerjaan dalam CFD :

a. Pre-processing

Pre-processing merupakan komponen input dari permasalahan yang disimulasikan kedalam program CFD yang berupa pendefinisian geometry yang dikehendaki, komputasi domain, pembentukan grid(meshing type) pada setiap domain, dan penentuan kondisi batas (*boundary condition*) yang sesuai dengan keperluan. Dalam kasus ini merupakan disimulasi dari spray DPM(discrete phase model) langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menentukan *boundary condition* yang mana *boundary condition* ini merupakan ruangan yang berukuran 1,5x1,5m, dengan temperature pada suhu kamar dan tekanan atmosfer.
2. Melakukan meshing pada ruang tersebut.
3. Menempatkan titik injection pada tools DPM pada ruang tersebut, dengan tipe injection solid cone(full cone).

b. Solver/Processing

Proses pemecahan persamaan-persamaan pengatur dalam kajian komputasi ini menggunakan pendekatan volume hingga(*finite volume*) dengan bantuan sebuah solver perangkat lunak (*fluent 6.3*). Secara ringkas proses ini memiliki tahapan-tahapan yaitu aproksimasi aliran yang tidak diketahui dilakukan dengan menggunakan fungsi sederhana, diskritisasi dengan mensubtitusi hasil aproksimasi kedalam persamaan aliran disertai dengan manifulasi matematik, dan penyelesaian persamaan aljabar. Pada proses ini dicari solusi numeric terhadap persamaan-persamaan atur yang meliputi persamaan kekekalan massa momentum.

c. Post processing

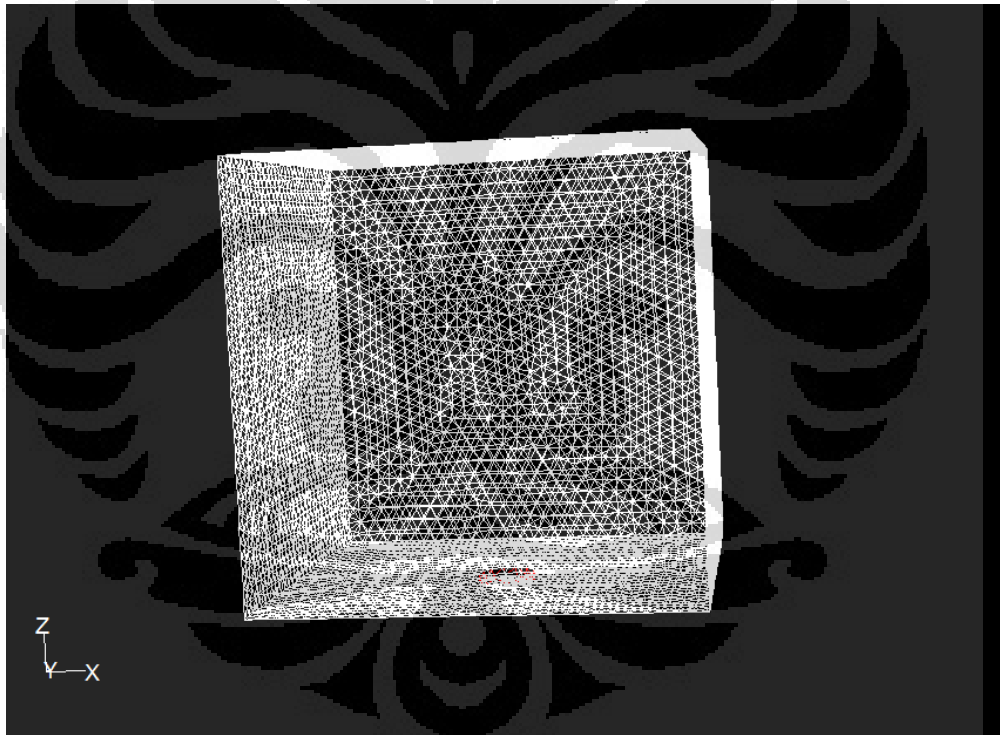
Untuk menganalisis lebih lanjut karakteristik medan aliran yang terbentuk, hasil yang diperoleh dari perhitungan secara komputasi kemudian



ditampilkan dalam bentuk-bentuk contour, pola aliran, vektor kecepatan, tekanan statik, dinamik dan bisa melihat pola aliran dalam 1 bidang.

### 3.2.3.1 Tahap Komputasional

Tahap komputasional pada penelitian ini dilakukan agar mendapatkan karakteristik aliran dan pola spray untuk satu nosel dan dua nosel pada jarak yang divariasikan. Hal ini dilakukan dengan menggunakan *software* Fluent dengan menggunakan DPM. Model komputasional ini di desain terlebih dahulu sebelumnya dan kemudian dilakukan *meshing* dengan menggunakan *software* *Gambit*. Total *meshing* yang diberikan pada computational domain ini yaitu 850.000 meshing. Dimana computational domain digambarkan seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.7. Computational Domain Meshing pada gambit

#### 1. Parameter properties untuk satu nosel

Berikut merupakan parameter-parameter yang diberikan untuk penggunaan melihat karakteristik satu nosel.

Tabel 3.2. Parameter input untuk satu nosel

Posisi dan Propertis pada injeksi	Tekanan 6 bar	Tekanan 10 bar	Tekanan 15 bar
<i>Room Dimension</i>	1,5x1,5 m <sup>2</sup>	1,5x1,5 m <sup>2</sup>	1,5x1,5 m <sup>2</sup>

<i>injection type</i>	Solid cone	Solid cone	Solid cone
<i>Particle type</i>	Droplet	Droplet	Droplet
<i>Number of particle stream</i>	100	100	100
<i>Material</i>	Water Liquid	Water Liquid	Water Liquid
<i>X posititon</i>	0	0	0
<i>Y posititon</i>	0	0	0
<i>Z posititon</i>	0.25	0.25	0.25
<i>Dimeter droplet(m)</i>	11E-05	11E-05	11E-05
<i>Temperatur</i>	300 K	300 K	300 K
<i>Velocity magnitude(m/s)</i>	10.33 m/s	14.69 m/s	17.95 m/s
<i>Cone angle(deg)</i>	67	70	70
<i>Total Flow Rate (Kg/s)</i>	0.002511	0.003	0.00367

## 2. Parameter properties untuk dua nosel

Propertis untuk dua nosel yang digunakan untuk simulasi fluent memiliki properties yang sama dengan 1 nosel untuk tekanan 6 bar, 10 bar dan 15 bar seperti pada tan. namun hanya penempatan posisi saja yang dibedakan. Yang mana untuk penempatan untuk dua nosel dilakukan beberapa variasi yang diurutkan sebagai berikut :

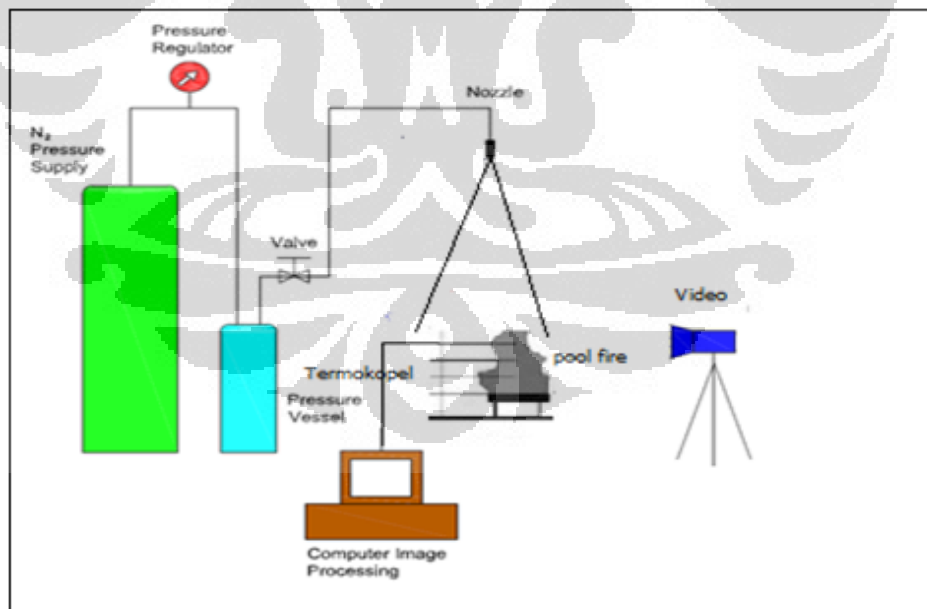
1. Jarak masing-masing antara nosel adalah 5 cm
2. Jarak masing-masing antara nosel adalah 10 cm
3. Jarak masing-masing antara nosel adalah 20 cm, dan
4. Jarak masing-masing antara nosel adalah 25 cm

### 3.2.4 Prosedur Pengambilan Data untuk Pemadaman Nyala Api Pada *Pool fire* jenis bensin dan methanol

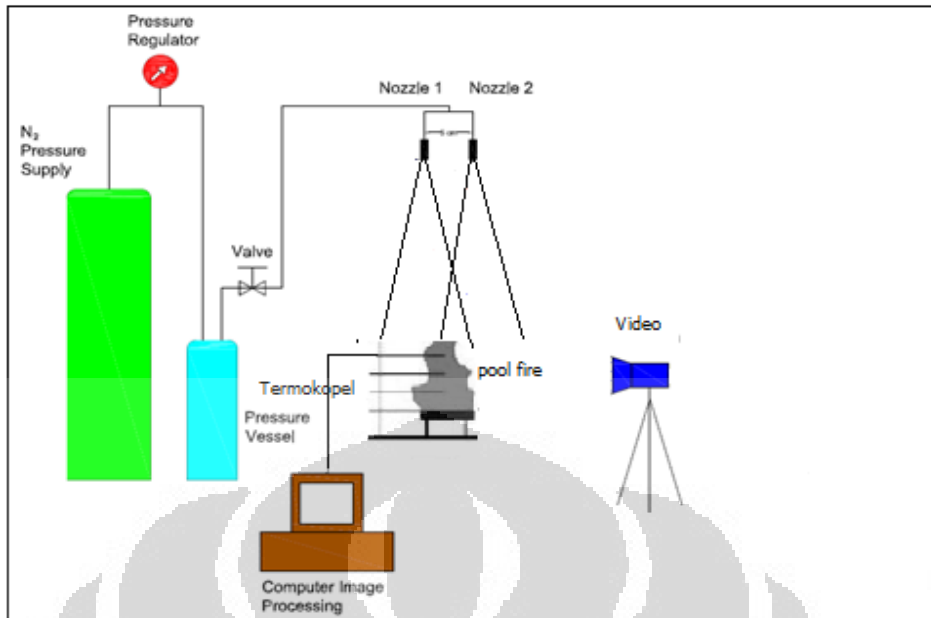
Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut;

1. Masukkan air kedalam *pressure vessel* sampai batas yang telah ditentukan, dan tutup rapat semua penutup.
2. Menyiapkan pemasangan 4 buah termokopel yang dipasang pada jarak 10 cm dari masing-masing setiap termokopel.
3. Menyiapkan konfigurasi nosel yang telah direncanakan sebelumnya.
4. Mengatur tekanan dengan pressure regulator tekanan (6, 10 dan 15 bar) yang bisa dilihat pada pressure gauge.

5. Lakukan tes semprotan kabut selama beberapa detik, untuk memastikan kabut benar-benar terbentuk sempurna.
6. Meletakkan wadah bahan bakar dan memastikan peletakan wadah bahan bakar tepat di tengah susunan nosel.
7. Menuangkan bahan bakar pada wadah yang telah disiapkan untuk masing-masing volume 30 ml.
8. Menyiapkan kamera untuk merekam. Hidupkan kamera pada api di tempelkan ke permukaan bensin.
9. Pada saat mulai penyalaan pada bensin, biarkan selama beberapa detik agar temperature dan tingginya stabil.
10. Pada detik tinggi nyala api dari bensin mulai stabil, buka stop valve untuk memulai pemadaman. Pada saat yang bersamaan juga mulai rekam visual
11. fenomena pemadaman dan hitung lamanya pemadaman dengan *stop watch*.
12. Setelah api padam, tutup semua *valve*, lalu tutup *pressure regulator* dan tutup tabung nitrogen.



**Gambar.3.8** Eksperimental set-up untuk pemadaman api *pool fire* dengan satu nosel



**Gambar.3.9** Eksperimental set-up untuk pemadaman api *pool fire* dengan dua nosel

### 3.2.5 Simulasi pemadaman api dengan menggunakan FDS

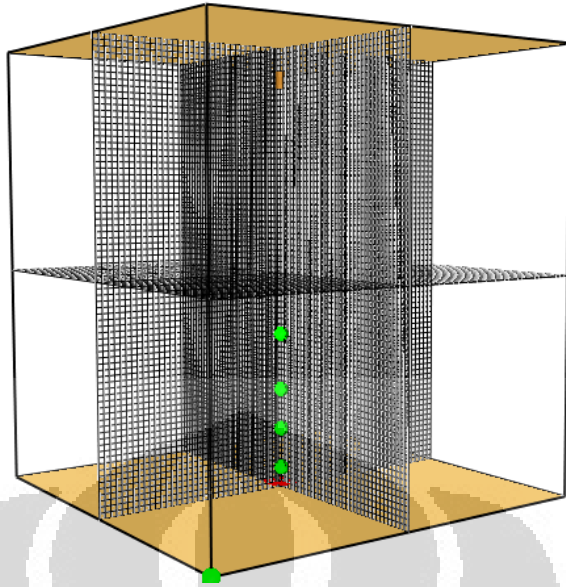
Pemodelan dilakukan dengan menggunakan FDS 5 untuk mensimulasikan suatu ruangan di mana di dalam ruangan tersebut terdapat suatu nyala api *pool fire*. Simulasi ini akan dilakukan dengan:

1. Simulasi nyala api *pool fire* dengan diameter *pool fire* 6.5 cm dan 10 cm menggunakan 1 nosel.
2. Simulasi nyala api *pool fire* dengan diameter *pool fire* 6.5 cm dan 10 cm menggunakan dua nosel yang divariasikan jarak antara nosel.

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara hasil eksperimen dengan hasil simulasi dengan menggunakan *software* FDS 5.

#### 3.2.5.1 Domain FDS

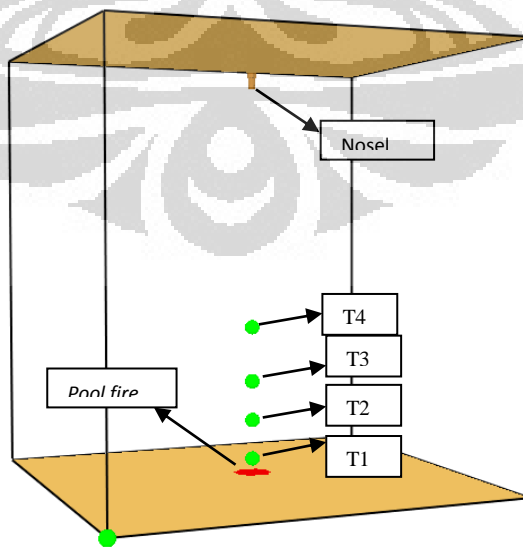
Berikut pada gambar merupakan domain grid pada pemadaman api menggunakan 1 nosel dan dua nosel. Pada penelitian ini menggunakan perbandingan grid 0.01 m x 0.01 m x 0.01 m. karena dalam hal ini perbandingan antara besarnya domain dan ukuran grid yang digunakan dalam simulasi sangat berkaitan satu sama lain. Besarnya grid yang digunakan dalam suatu simulasi FDS akan sangat memengaruhi akurasi hasil simulasi. [24]



**Gambar 3.10** *Lay out mesh* pada simulasi berukuran 1x1x1.2

### 3.2.5.2 Geometri

Geometri yang digunakan dalam simulasi ini berdasarkan pada ukuran sesungguhnya di mana skala perbandingan ukuran eksperimen dengan simulasi adalah 1 : 1. Simulasi ini terdiri dari dua skenario yaitu pemadaman dengan menggunakan 1 nosel dan pemadaman api *pool fire* dengan menggunakan 2 buah nosel. Ruang yang digunakan dalam simulasi ini memiliki dimensi bagian dalam 1 m x 1 m x 1.2 m (x,y,z).

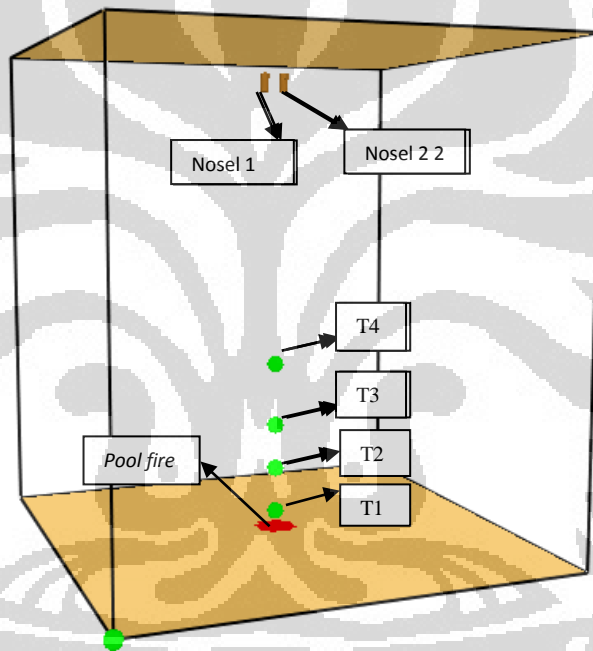


**Gambar 3.11** *Lay out* simulasi pemadaman api dengan menggunakan 1 buah nosel

Berikut merupakan posisi penempatan nosel dan termokopel pada kordinat yang ada pada FDS 5 :

**Tabel 3.3** Posisi penempatan koordinat untuk *device*

<i>Device</i>	Sumbu-x	Sumbu-y	Sumbu-z
<i>Pool fire</i>	0.5 m	0.5 m	0.01 m
Nosel	0.5 m	0.5 m	1.01 m
Termokopel 1	0.5 m	0.5 m	0.035m
Termokopel 2	0.5 m	0.5 m	0.135 m
Termokopel 3	0.5 m	0.5 m	0.235 m
Termokopel 4	0.5 m	0.5 m	0.335m



**Gambar 3.12** Lay out simulasi pemadaman api dengan menggunakan dua buah nosel

Berikut tabel merupakan penempatan kordinat untuk *device* yang digunakan untuk pemadaman api *pool fire* dengan menggunakan 2 buah nosel:

**Tabel 3.4** Posisi peralatan pengukuran dengan tirai kabut air

<i>Device</i>	Sumbu-x	Sumbu-y	Sumbu-z
<i>Pool fire</i>	0.5 m	0.5 m	0.01 m
Nosel 1	0.475	0.5 m	1.01 m
Nosel 2	0.525 m	0.5 m	1.01 m
Termokopel 1	0.5 m	0.5 m	0.035m
Termokopel 2	0.5 m	0.5 m	0.135 m

Termokopel 3	0.5 m	0.5 m	0.235 m
Termokopel 4	0.5 m	0.5 m	0.335m

### 3.2.6 Material Properties

Berikut ini merupakan material properties untuk bahan bakar bensin untuk tabel dan properties metana pada tabel yang dimasukkan dalam FDS 5 sebagai bahan untuk simulasi:

**Tabel 3.5** Material Properties Bensin

Material Properties	Gasoline
Density ( $\text{kgm}^{-3}$ )	740
Boiling temperature(0C)	100
Heat of Combustion ( $\text{kJkg}^{-1}$ )	43700
Heat of Vaporation ( $\text{kJkg}^{-1}$ )	338
Heat of release rate per area (HRRPUA)( $\text{kW/m}^2$ )	308
Specific heat ( $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	2.22

**Tabel.3.6** Material properties Metanol

Material Properties	Metanol
Density ( $\text{kgm}^{-3}$ )	796
Boiling Temperatur(0C)	65
Heat of Combustion ( $\text{kJkg}^{-1}$ )	19800
Heat of vaporation ( $\text{kJkg}^{-1}$ )	1100
Heat release rate per area (HRRPUA) ( $\text{kW/m}^2$ )	138.72
Specific heat ( $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	2.31

### 3.3 Perangkat Eksperimen yang digunakan

#### 3.3.1 Nosel Pembentuk *Water mist*

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



**Gambar 3.13.** Nosel *Water mist*

Spesifikasi nosel yang digunakan :

Nama pasaran/merek : 1/4 - LNN – SS1.5

Material : Stainless Steel 303

Diameter Orifice : 0,51 mm

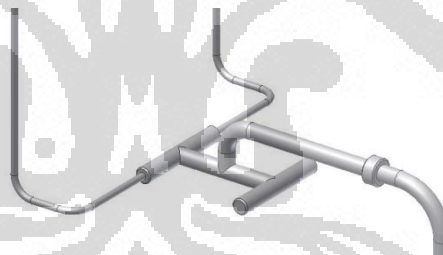
Tekanan kerja : 2 – 70 bar

Sudut *Spray* : 65° - 72° (Bergantung dari tekanan)

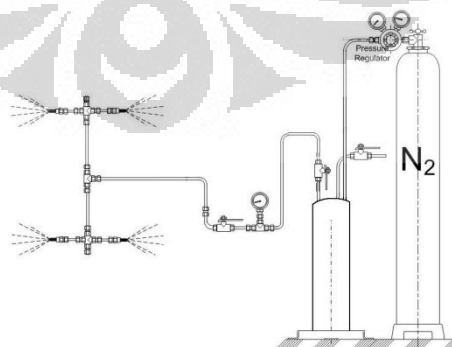
Kapasitas air : 4.8 – 29 L/jam

### 3.3.2 Sistem Pemipaan

Sistem pemipaan *water mist* 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 3.14.** Sistem pemipaan *water mist*



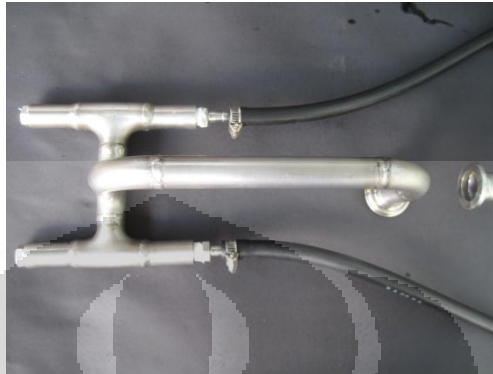
**Gambar 3.15.** Konfigurasi Nosel Pada Sistem Pemipaan *Water mist*

Berikut adalah komponen yang di butuhkan untuk membuat sistem pemipaan *water mist* ini :



### 3.3.3 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 3.16. Pipa Pembagi

### 3.3.4 Selang Hitam Bertekanan

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



Gambar 3.17. Selang Hitam

### 3.3.5 Union Ferrule

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



Gambar 3.18 Union Ferrule

### 3.3.6 Caps & Plug

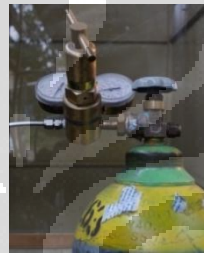
Berfungsi sebagai penyumbat jika konfigurasi nosel yang digunakan kurang dari 4 nosel,



Gambar 3.19 Caps & Plug

### 3.3.7 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 *pressureregulator* digunakan untuk mengetahui tekanan nitrogen yang keluar dari tabung nitrogen



Gambar 3.20 Tabung Nitrogen dan *regulator*

### 3.3.8 *Pressure Vessel*

*Presssure 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 3.21 *Pressure vessel*

### 3.3.9 Check Valve

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

### 3.3.10 Busa dan Tempat Busa

Untuk mendapatkan data *mass flux* dari *water mist* 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 3.13 dan disusun menjadi 14 x 17 buah. Penggunaan alat ini juga untuk mengetahui persebaran *spray* yang dihasilkan oleh nosel.



**Gambar 3.22** Busa

### **3.3.11 Timbangan**

Dipergunakan untuk menghitung massa air dari nosel *water mist*. 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 3.23** Timbangan

### **3.3.12 Termokopel**

Termokopel yang digunakan dalam pengujian adalah termokopel tipe K, Untuk menjamin keakuratan data, termokopel perlu diletakan pada posisi yang tepat, yaitu termokopel 1, termokopel 2, termokopel 3 dan 4 masing-masing jarak

10 cm. Berikut ini dijelaskan mengenai posisi dan peletakan termokopel pada pengujian pemadaman minyak goreng dengan kabut air.

### 3.3.13 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 3.24 Wadah bahan bakar

### 3.3.14 Kamera

Kamera yang digunakan pengambilan data menggunakan kamera LSR Canon Eos 500 d 12 mega pixel dengan menggunakan lensa makro. Kamera ini memiliki nilai shutter *speed* 1/4000 second dan batas minimal ISO 100 sehingga bisa mengambil data yang ‘diam’ pada sebuah alira.



**Gambar.3.25** Kamera canon EOS 500 D

### 3.3.14 Flash

*Flash* yang digunakan adalah tipe 580EXII artinya adalah dengan GN 58, dalam penelitian ini menggunakan 3 *flash* yang masing-masing digunakan untuk *lighting* pada waktu bersamaan. 2 *flash* ditempatkan di belakang objek dan 1 *flash* dipasang pada kamera sebagai master.



**Gambar.3.26** *Flash* 580EXII

## BAB IV

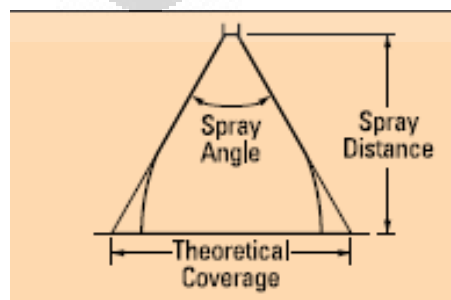
### HASIL DAN ANALISA

#### 4.1 Karakteristik Spray untuk Satu Nosel

Karakteristik dari *spray* nosel dibagi dua garis besar yaitu karakteristik secara makro dan karakteristik mikro. Karakteristik makro mempelajari tentang cakupan dari semprotan (*spray coverage*), fluks massa, dan sudut *spray*. Dan karakteristik mikro mempelajari ukuran *droplet* dan keceptan doplet. Pada penelitian ini akan dibahas tentang besarnya cakupan (*coverage*) untuk nosel *full cone* pada setiap ketinggian dari *discharge* nosel pada tekanan yang berbeda, dan selanjutnya membahas tentang fluks massa dari *spray* jenis nosel ini dalam waktu 1 menit untuk setiap percobaan pada tekanan yang bervariasi.

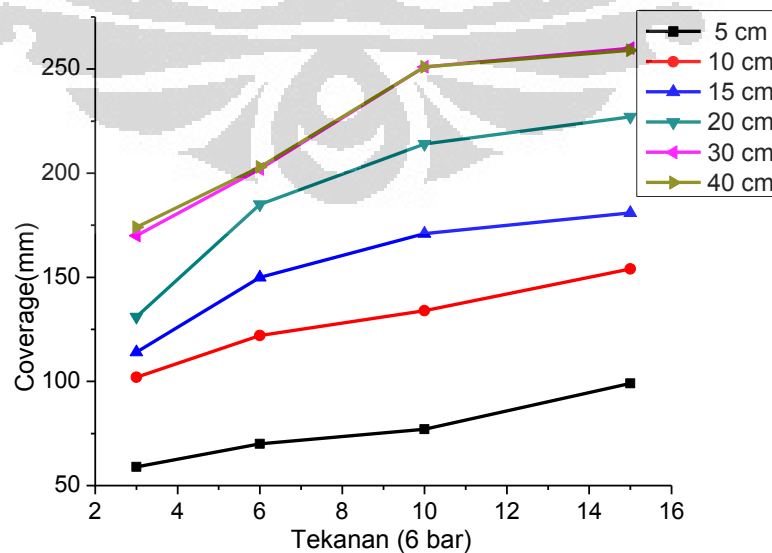
##### 4.1.1 *Coverage* dari *Spray* untuk Satu Nosel

Cakupan pola *spray* memiliki nilai yang berbeda pada setiap sudut *spray* dan variasi tekanan untuk setiap jarak yang diukur dari lubang nosel (*discharge* nosel). Besarnya nilai *coverage* tergantung dari kapasitas nosel, dan tekanan operasi pada saat eksperimen. Mengetahui besarnya nilai *coverage* pada setiap ketinggian merupakan faktor yang penting khususnya untuk pemadaman api, dengan mengetahui nilai ini, lebih mudah menempatkan nosel pada posisi yang tepat dengan objek yang akan dipadamkan sehingga bisa memadamkan api dengan lebih efektif. Pada gambar 4.1 menunjukkan gambaran nilai *coverage* secara teoritis, sudut *spray*, dan penentuan jarak dari *discharge* nosel. Disini dijelaskan bahwa besarnya nilai cakupan *spray* teoritis lebih besar daripada eksperimen.



**Gambar.4.1** Gambaran *spray coverage* teoritis

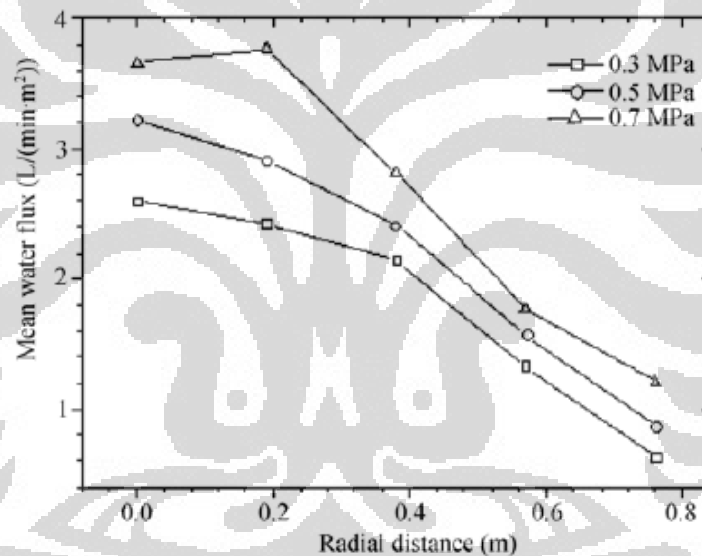
Gambar 4.2 menunjukkan hasil eksperimen yang dilakukan di Lab Fire Safety Teknik Mesin FT UI untuk nosel jenis *fine spray full cone* yang diukur pada setiap ketinggian dari *discharge* nosel, pada tekanan 3 bar, 6 bar, 10 bar dan 15 bar. Dapat dilihat bahwa pada setiap kenaikan tekanan yang ditunjukkan pada sumbu x, maka nilai *coverage* semakin besar dengan trend grafik yang landai, jelas bahwa tekanan berperan sangat penting terhadap karakteristik dari *water mist*. Bisa diperhatikan dari grafik peningkatan nilai *coverage* pada jarak 5 cm ke 10 cm, 10 cm ke 15 cm, dan 15 ke 20 cm yang diukur dari *discharge* nosel cenderung menunjukkan peningkatan *coverage spray* yang cukup signifikan dari jarak ke jarak. Hal ini jelas bahwa daerah yang masih dekat dengan *discharge* nosel masih memiliki momentum sudut yang tinggi, sehingga besarnya *coverage* dari *spray* pada area tersebut tinggi, namun berbeda halnya jika melihat trend peningkatan *coverage* pada jarak 20 cm ke 30 cm dan 30 cm ke 40 cm dari *discharge* nosel dimana peningkatan nilai *coverage* cenderung kecil bahkan untuk jarak 30 cm ke 40 cm sangat kecil dan untuk ketinggian 40 cm dari *discharge* nosel menunjukkan trend yang menyerupai dengan jarak 30 cm. Hal ini terjadi karena momentum sudut dari *spray* pada jarak yang jauh dari keluaran nosel semakin kecil, sehingga *spray* mulai jatuh dengan bebas apalagi dipengaruhi oleh udara ambient maka besarnya *coverage spray* akan menurun. Momentum sudut dari *spray* sangat dipengaruhi oleh besarnya tekanan yang diberikan, diameter *Orifice* dan bentuk dari desain nosel itu sendiri.



**Gambar.4.2** Grafik Pressure vs *coverage* hasil eksperimen dengan pengolahn citra

#### 4.1.2 Fluks massa untuk Satu Nosel

Fluks massa adalah sebaran volume dari *droplet* pada tekanan tertentu yang diukur pada ketinggian tertentu dalam waktu 1 menit. Tekanan dan jumlah nosel diatur sesuai dengan konfigurasi yang diinginkan. Dalam penelitian ini tekanan pada *pressure gauge* dijaga sebesar 6, 10 dan 15 bar. Dari gambar 4.5 menunjukkan hasil pengukuran fluks massa untuk tekanan 6 bar, 10 bar dan 15 bar. Pada setiap konfigurasi menunjukkan pola yang sama dimana bagian tengah atau *center line discharge* nosel memiliki nilai fluks massa yang paling tinggi. Hal ini jelas bahwa *spray* memiliki densitas yang lebih padat pada area tersebut yang menyebabkan fluks massa pada daerah tersebut tinggi. Hal ini bisa diverifikasi dengan hasil pengukuran *mass flux*

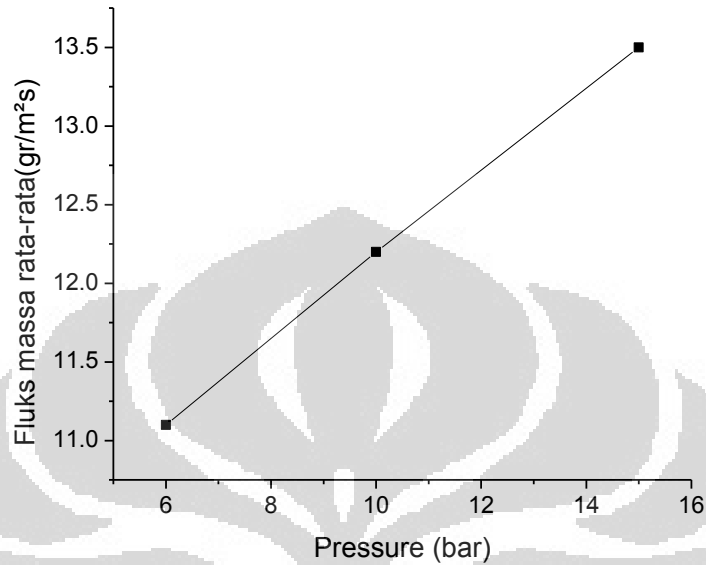


**Gambar.4.3** Mean water mist volume flux and radial distance from nosel centerline (Sumbe: ZHOU XiaoMeng1, QIN Jun2 & LIAO GuangXuan.2008)

oleh ZHOU Xiao Meng, QIN Jun2 & LIAO GuangXuan yang ditunjukkan pada gambar 4.3 dengan menggunakan nosel *commercial full cone*. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa volume fluks rata-rata untuk daerah 0.0 yang berarti daerah yang diukur dari *center line nozzle* memiliki volum fluks yang paling besar. Dan untuk setiap kenaikan tekanan yang diberikan maka akan didapatkan volume flux yang lebih besar. Dalam hal ini relevan dengan hasil yang ditunjukkan pada tabel gambar 4.5 hasil pengukuran, yang mana untuk tekanan 6 bar didapatkan nilai



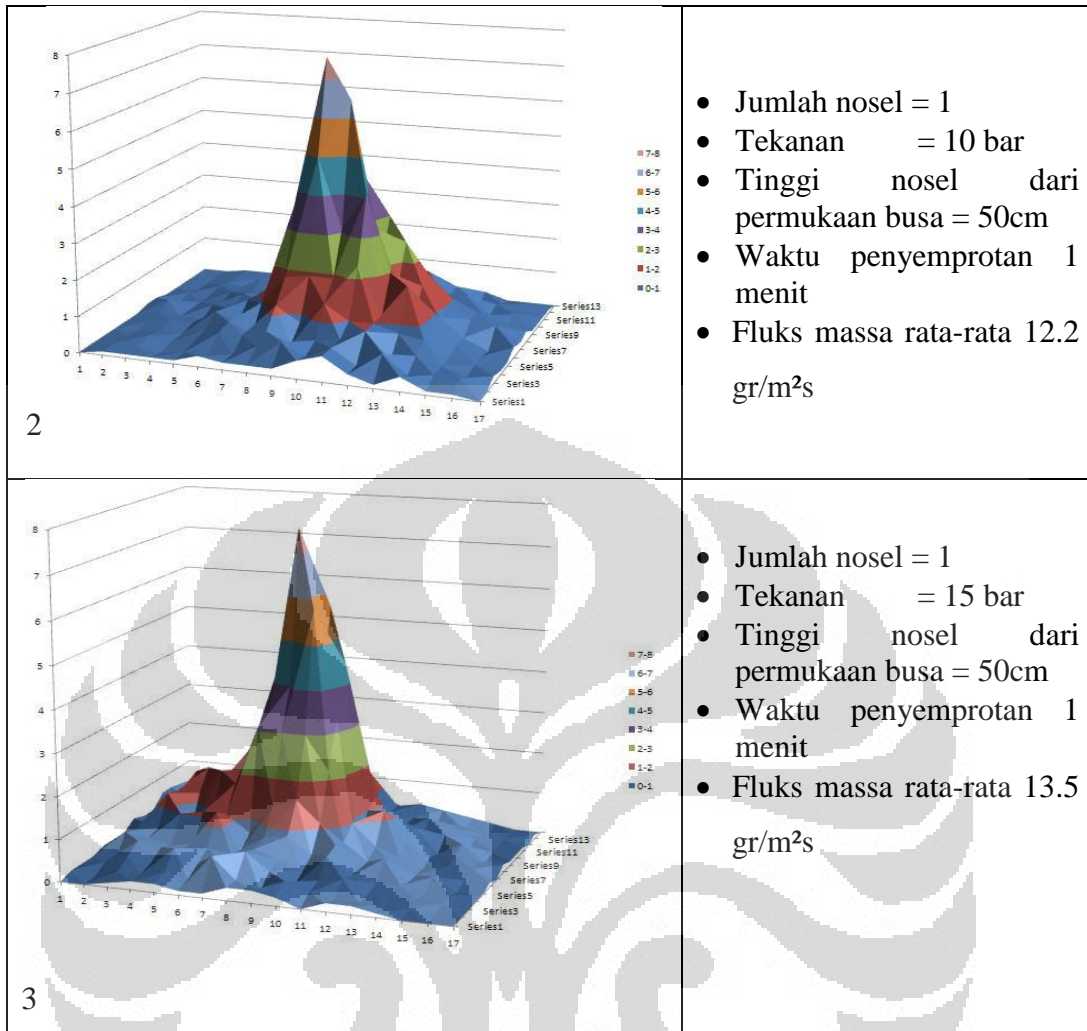
fluks massa rata-rata 11.1 gr/m<sup>2</sup>s, tekanan 10 bar fluks massa rata-rata 12.2 gr/m<sup>2</sup>s dan untuk tekanan 15 bar fluks massa rata-rata 13.5 gr/m<sup>2</sup>s. Gambar 4.4



**Gambar.4.4** Fluks massa utk kenaikan tekanan

menunjukkan bahwa tekanan yang diberikan sebanding dengan besarnya fluks massa rata-rata yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena pengukuran fluks massa dilakukan pada foam setelah terjadi penyemprotan dan disana ada *pending time* sehingga kemungkinan besar fluks massa air yang ada pada foam pada beberapa tekanan tersebut menguap yang menyebabkan terbentuk grafik seperti pada gambar 4.4 pada tekanan 6 bar, 10 bar dan 15 bar .

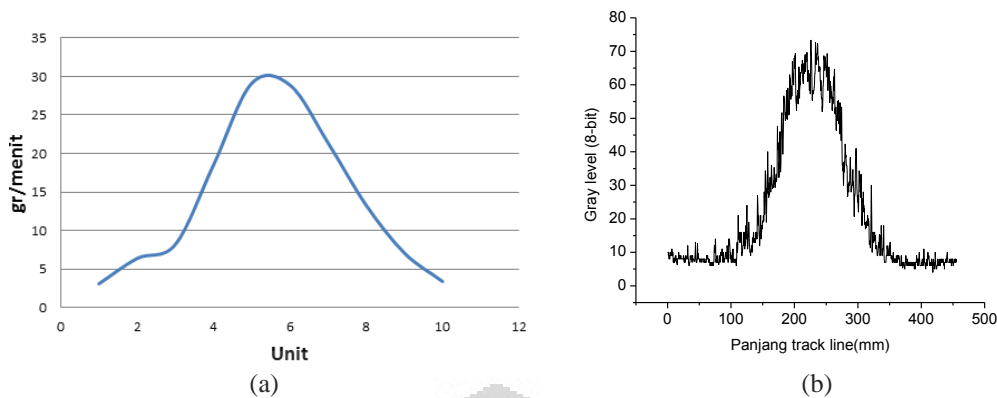
Grafik fluks massa	Spesifikasi dan hasil Pengukuran
<p>1</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah nosel = 1</li> <li>• Tekanan = 6 bar</li> <li>• Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm</li> <li>• Waktu penyemprotan 1 menit</li> <li>• Fluks massa rata-rata 11.1 gr/m<sup>2</sup>s</li> </ul>



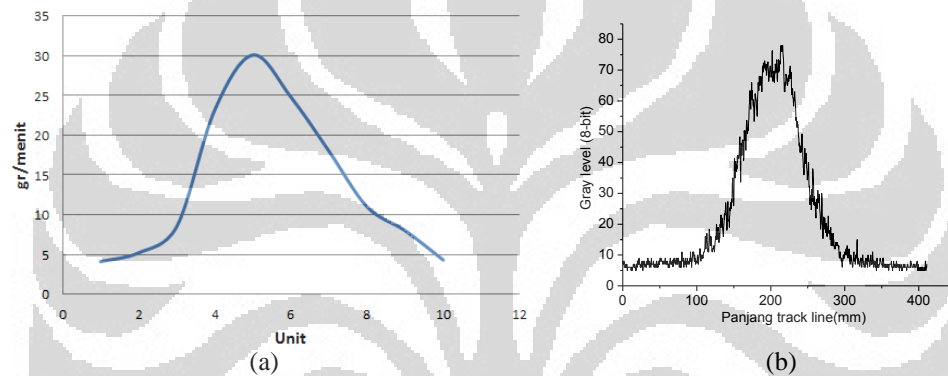
Gambar.4.5 Grafik fluks massa dan hasil pengukuran

#### 4.1.3 Verifikasi Distribusi Densitas Hasil Pengolahan Citra dengan Fluks Massa

Distibusi densitas dari droplet untuk tipe jenis LNN full cone nosel bisa dilakukan dengan mengukur fluks massa, pada penjelasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa fluks massa merupakan sebaran volume dari *droplet* pada tekanan tertentu yang diukur pada ketinggian tertentu pada waktu 1 menit. Pada penjelasan kali ini dilakukan pengukuran fluks massa untuk tekanan 6 bar yang dilakukan pada ketinggian 40 cm dan 50 cm dari discharge nosel yang kemudian dilakukan hal yang sama dengan menempatkan track line pada ketinggian 40 cm dan 50 cm dari discharge nosel.



**Gambar.4.6** Grafik (a) Pengolahan citra, (b) Pengukuran fluks massa, masing-masing diukur pada ketinggian 40 cm dari discharge nosel



**Gambar.4.7** Grafik (a) Pengolahan citra, (b) Pengukuran fluks massa kumulatif, masing-masing diukur pada ketinggian 50 cm dari discharge nosel

Pada gambar 4.6 dan gambar 4.7 merupakan grafik perbandingan antara hasil pengukuran fluks massa dan hasil pengolahan citra yang dilakukan pada tekanan 6 bar, ketinggian 40 cm untuk gambar 4.6, dan ketinggian 50 cm dari discharge nosel untuk gambar 4.7. Keduanya memiliki similaritas antara hasil pengolahan citra dan fluks massa dimana daerah center line yang sejajar dengan discharge nosel memiliki densitas yang lebih padat. Keduanya untuk ketinggian 40 cm dan 50 cm dari discharge nosel memiliki tinggi puncak dengan nilai gray level sekitar 70 bit dan tinggi maksimal fluks massa sekitar 30 gr/menit. Hal ini bisa disimpulkan bahwa hasil pengolahan citra yang diwakili oleh garis *track line* distribusi densitas diverifikasi oleh pengukuran fluks massa dimana gray level yang tinggi menunjukkan besarnya nilai densitas.

#### 4.1.4 Dua Nosel

Dalam pemadaman api penting untuk mengetahui seberapa besar *coverage* untuk satu nosel dan *multi* nosel yang digunakan dalam mekanisme pemadaman. Pada pembahasan ini akan dikaji mengenai dimana daerah terbentuknya interaksi dari dua nosel pada jarak yang ditentukan. Pengambilan gambar untuk seluruh interaksi dari dua nosel menggunakan kamera Canon 12 Mega Pixel dengan lensa Makro. Pengambilan gambar menggunakan *shutter Speed* 1/500 s, *Diaphragma* 11, dan dengan ISO 200. Pada setiap gambar yang diambil dilakukan pada setiap ketinggian yang dimulai dari nosel tip yang kemudian bergeser setiap 1 cm sampai mencapai jarak 40 cm.

#### 4.1.4.1 Analisis korelasi batas kuantitatif gray level untuk terbentuknya interaksi dua nosel

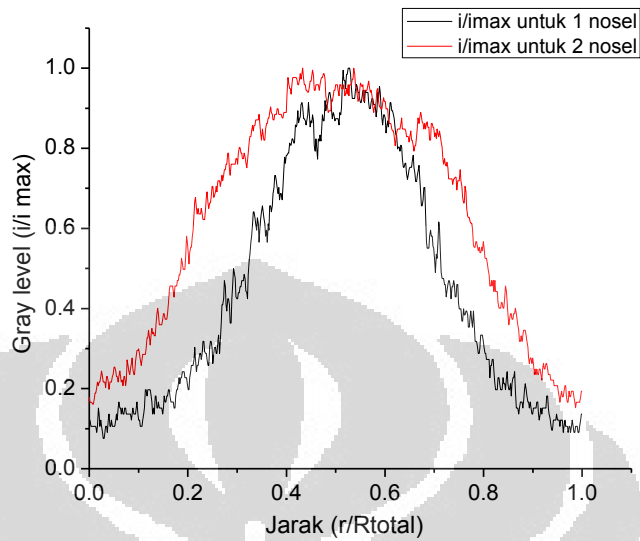
Sebagai dasar penentuan terbentuknya interaksi pada dua buah nosel dilakukan analisis korelasi batas kuantitatif, dimana terbentuknya pola interaksi dari dua buah nosel ditandai dengan pembentukan kurva yang menyerupai satu buah nosel. Analisis regresi ini digunakan untuk mempelajari dan mengukur hubungan statistic yang terjadi antara kurva satu nosel dan kurva hasil interaksi dari dua nosel. Analisis korelasi ini bertujuan untuk mengukur “seberapa kuat”, atau “derajat kedekatan”, suatu relasi pada dua variasi nosel ini. Dimana tingkat hubungan dari interpretasi relasi ditunjukkan table 4.1.

**Tabel.4.1** Interpretasi relasi

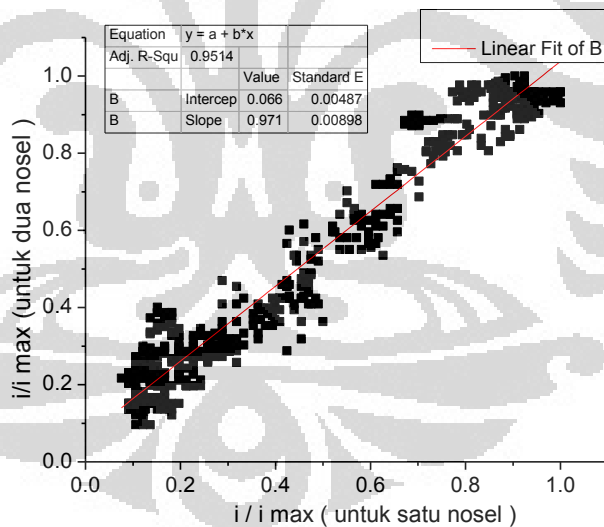
Interpretasi r	Tingkat hubungan
$0 \leq r \leq 0.2$	Sangat Rendah
$0.2 \leq r \leq 0.4$	Rendah
$0.4 \leq r \leq 0.6$	Sedang
$0.6 \leq r \leq 0.8$	Kuat
$0.8 \leq r \leq 1$	Sangat kuat

Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan antara kurva satu nosel dan daerah mulai terbentuknya interaksi dua nosel. Kurva ini diambil pada tekanan 6 bar pada ketinggian 8 cm dari discharge nosel. Yang kemudian kedua kurva tersebut dinormalisasikan. Kurva satu nosel memiliki data sekitar 300 data yang merupakan representasi panjang dari tracking, dan untuk dua nosel memiliki 600

data. Yang kemudian dari keduanya diambil sampel 200 data untuk menghitung nilai korelasi dari kedua grafik tersebut.



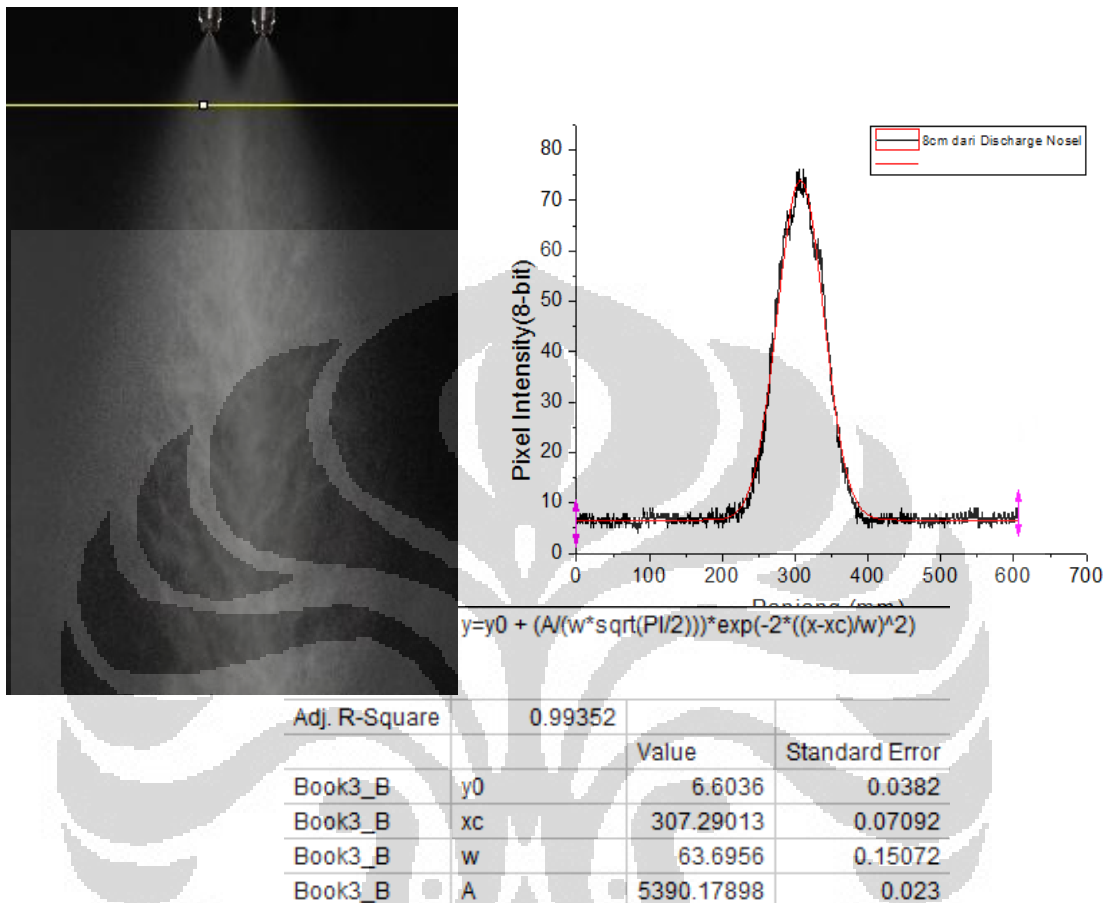
**Gambar. 4.8** Perbandingan antara kurva satu nozel dengan kurva mulai terbentuknya interaksi



**Gambar.4.9** Grafik korelasi kurva satu nozel dan kurva interaksi dua nozel

Dari gambar 4.9 terlihat bahwa adanya korelasi yang sangat kuat dimana nilai  $r$  berada pada  $0.8 \leq r \leq 1$ , untuk kurva 1 nozel dan kurva interaksi 2 nozel. Dari grafik tersebut menyatakan bahwa kurva dua nozel akan dikatakan mulai terjadi interaksi jika kurva sudah membentuk kurva gaussian seperti kurva satu nozel. Hal ini telah dibuktikan pada pengukuran jarak dan tekanan yang lainnya

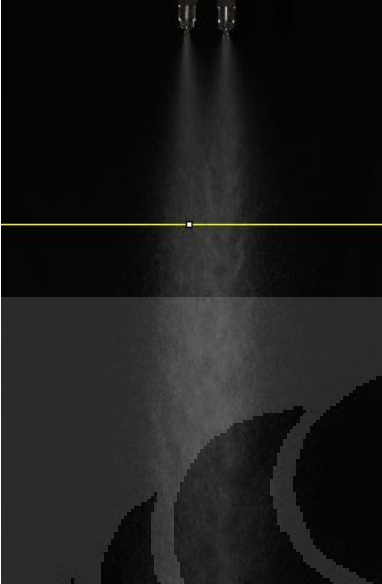
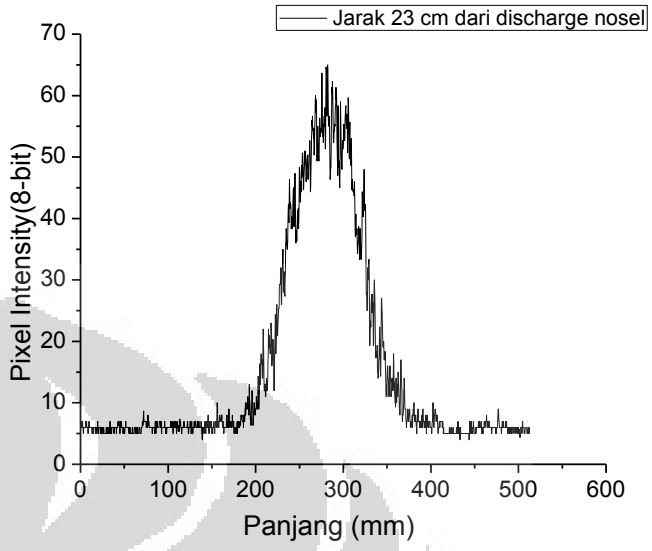
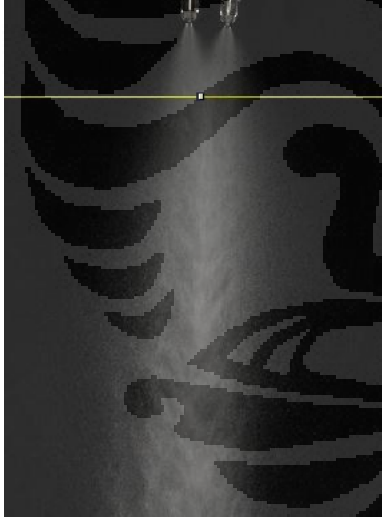
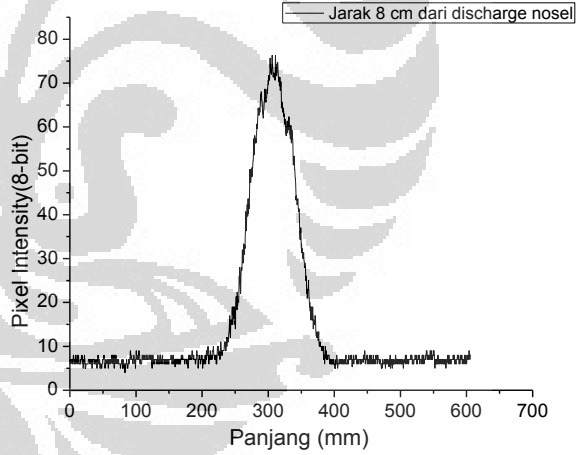
yang mana untuk setiap kurva dari interaksi dua nosel yang membentuk gaussian kurva satu nosel memiliki korelasi  $0.8 \leq r \leq 1$ .

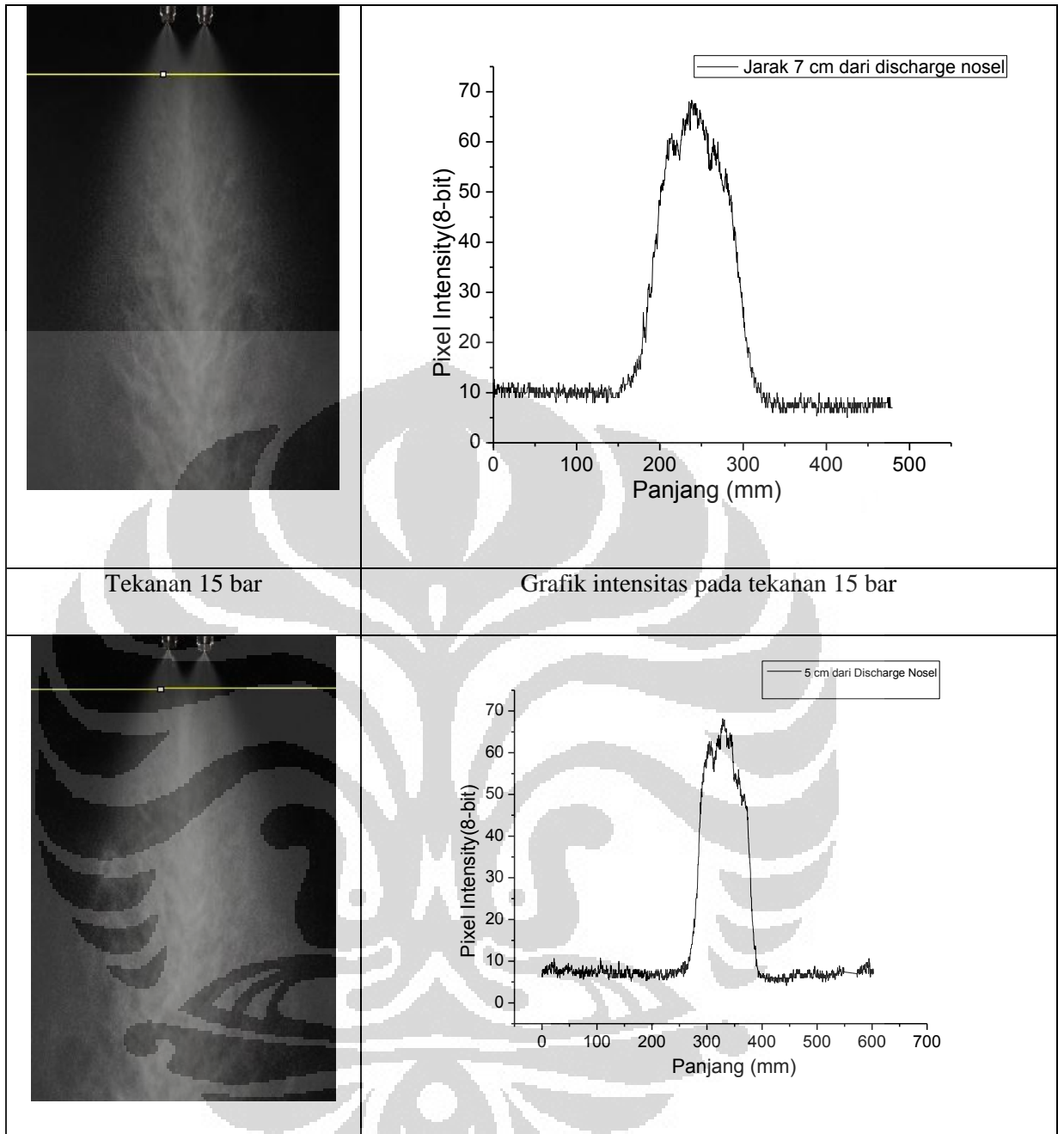


**Gambar 4.10** Analisis kurva mulai terbentuknya interaksi dengan pendekatan gaussian.

#### 4.1.4.2 Jarak 50 mm Masing-Masing Dua Nosel

Interaksi dua nosel pada jarak 50 mm masing-masing nosel ditunjukkan pada gambar 4.9. Pengambilan data atau *record data* oleh kamera canon pada tekanan yang bervariasi mulai dari tekanan 1 bar, 6 bar, 10 bar dan 15 bar. Tekanan ini cukup merepresentasikan tekanan yang lain, bisa dilihat gambar *water mist* pada tabel sebelah kiri yang ditandai garis kuning dan hasil kuantisasi pada bagian sebelah kanan merupakan hasil perhitungan nilai gray level pada daerah yang ditandai garis kuning tersebut.

Tekanan 1 bar	Grafik intensitas pada tekanan 1 bar
	
Tekanan 6 bar	Grafik intensitas pada tekanan 6 bar
	
Tekanan 10 bar	Grafik intensitas pada tekanan 10 bar

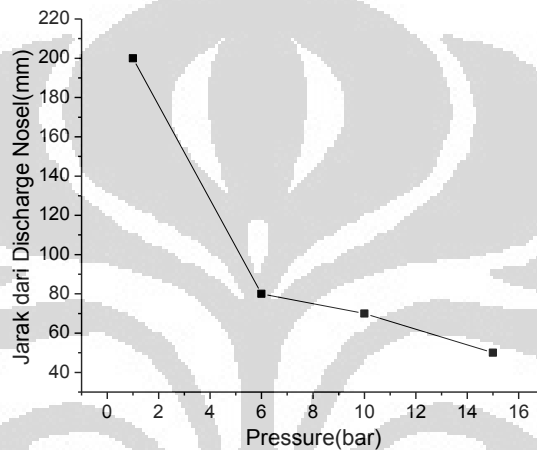


**Gambar 4.11** Interaksi dari dua nosel, jarak masing-masing nosel 50 mm

Pada gambar 4.11 bagian sebelah kanan menunjukkan grafik mulai terbentuknya pola yang seragam untuk interaksi dari dua nosel pada tekanan yang berbeda, warna hitam pada grafik menunjukkan daerah dimana mulai terbentuknya pola yang seragam, pola tersebut dikatakan seragam jika telah membentuk pola seperti kurva satu nosel dan membentuk kurva gaussian. Untuk tekanan 1 bar daerah interaksi mulai dibentuk pada jarak 200 mm dari *discharge* nosel pada nilai intensitas *gray level* sekitar 50-55 bit, untuk tekanan 6 bar daerah *uniform*



*pattern* terbentuk pada jarak 80 mm dari *discharge* nosel pada nilai intensitas *gray level* 70-75 bit, kemudian untuk tekanan 10 bar *uniform pattern* mulai terbentuk pada jarak 70 mm pada intensitas *gray level* sekitar 65-70 bit dan yang terakhir pada tekanan 15 bar daerah *uniform* terbentuk pada jarak 50 mm dari *discharge* nosel pada intensitas *gray level* sekitar 60-65 bit. Berikut grafik daerah mulai terbentuknya pola yang seragam yang merepresentasikan gambar diatas ditunjukkan pada gambar 4.12.



**Gambar 4.12** Daerah mulai terbentuknya pola yang seragam pada jarak 50 mm antara nosel

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa untuk jarak masing-masing nosel 50 mm, daerah interaksi yang *uniform* terbentuk semakin cepat jika pemberian tekanan lebih besar, indikasi *uniform pattern* ditentukan berdasarkan nilai *gray level* yang memiliki range nilai bit yang relative dekat dan membentuk kurva yang menyeruai *coverage* satu nosel.

**Tabel 4.2** Daerah Mulai terbentuk *uniform pattern* untuk setiap jarak dua nosel yang berbeda pada

	Jarak 50 mm	Jarak 100 mm	Jarak 200 mm	Jarak 250 mm
<b>Tekanan 1 bar</b>	200 mmS	400 mm	Belum terbentuk	Belum terbentuk
<b>Tekanan 6 bar</b>	80 mm	250 mm	Belum terbentuk	Belum terbentuk
<b>Tekanan 10 bar</b>	70 mm	200 mm	400 mm	Belum terbentuk
<b>Tekanan 15 bar</b>	50 mm	150 mm	330 mm	400 mm

variasi jarak antara nosel.

Tabel 4.2 menunjukkan daerah mulai terbentuknya pola seragam pada setiap variasi jarak penempatan dua nosel yang berbeda. Jarak penempatan nosel merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap terbentuknya interaksi dari dua nosel. Jarak masing-masing antara nosel yang lebih jauh menyebabkan spray terbentuk pada yang lebih jauh dari discharge nosel bahkan sama sekali tidak terbentuk misal untuk jarak masing-masing nosel untuk jarak 250 mm pada tekanan 1 bar, 6 bar, 10 bar tidak terbentuk adanya daerah interaksi yang uniform. Selain itu tekanan yang diberikan juga sangat berperan penting dalam terbentuknya pola yang seragam, terlihat bahwa pada setiap peningkatan tekanan, walaupun jarak antara kedua nosel jauh dalam batas *coveragenya* namun akan terbentuk daerah yang uniform. Seperti pada jarak nosel 20 mm masing-masing nosel dan 25 mm masing-masing nosel akan terbentuk daerah ineraksi yang uniform pada tekanan yang tinggi seperti pada tekanan 10 bar dan 15 bar..

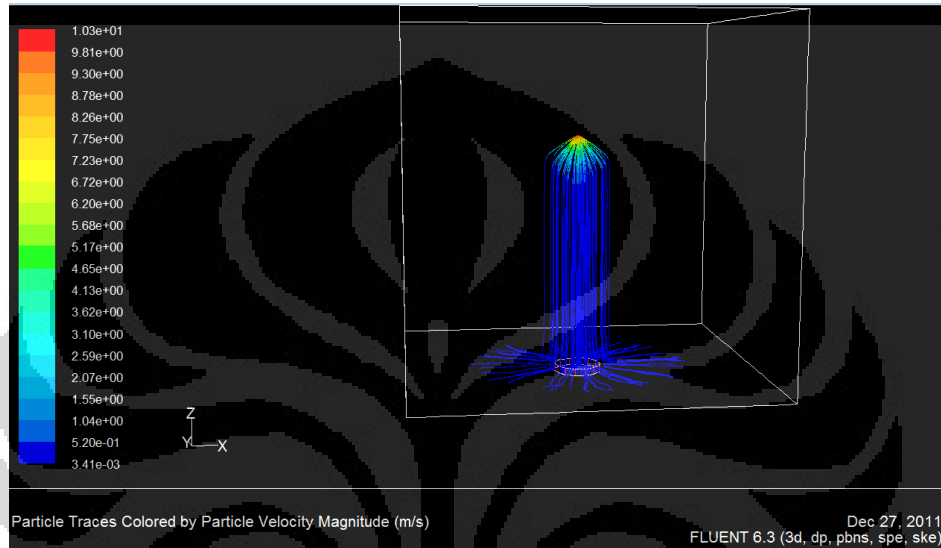
## 4.2 Analisis hasil simulasi fluent untuk karakteristik spray nosel

### 4.2.1 Karakteristik untuk satu nosel

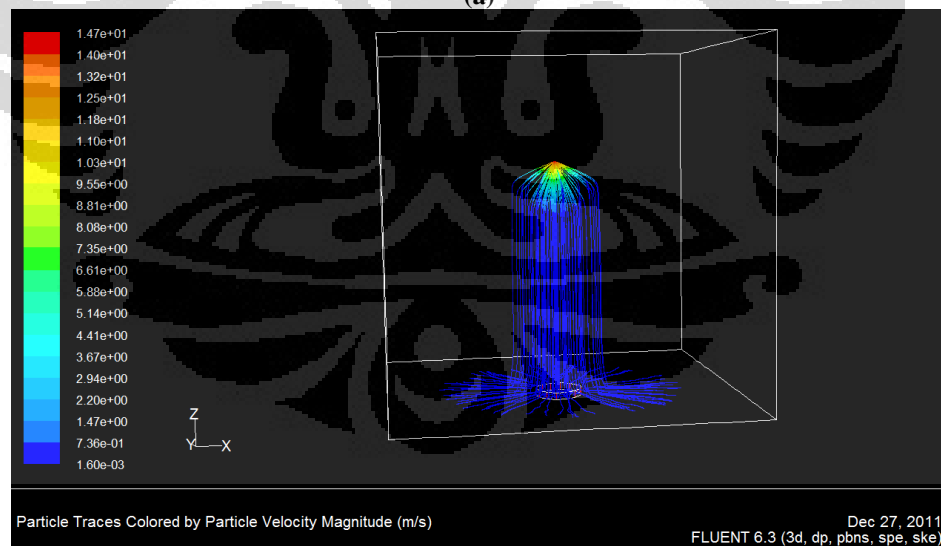
Pada pembahasan hasil simulasi untuk fluent ini menggunakan dua teknik fundamental yang berbeda untuk pemodelan kabut air, yaitu model lagrangian, dan model eulerian. Model lagrangian merupakan *tracking* dari tetesan bergerak secara individu dan eulerian merupakan daerah yang dilewati oleh partikel diskrit tersebut (udara). Pergerakan dari partikel berdasarkan model lagrangian partikel merupakan satu pendekatan yang umum dalam partikel tracking dalam proses CFD (Adiga, 2004; Lee dan Ryou, 2000; Lentati dan Chelliah, 1998; Nam, 1996; Yang dan Kee, 2002). Untuk pemodelan sistem kabut air model lagrangian adalah dasar untuk model fase diskrit (DPM) di fluent. Perhitungan lintasan partikel fase diskrit dilakukan dengan intekisi-kisi keseimbangan gaya pada tetesan tersebut. yang dihitung menurut keseimbangan gaya dalam notasi vektor :

$$\frac{\partial \vec{u}_p}{\partial t} = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D \text{Re}}{24} (\vec{u} - \vec{u}_p) + \vec{g} \left( \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} \right)$$

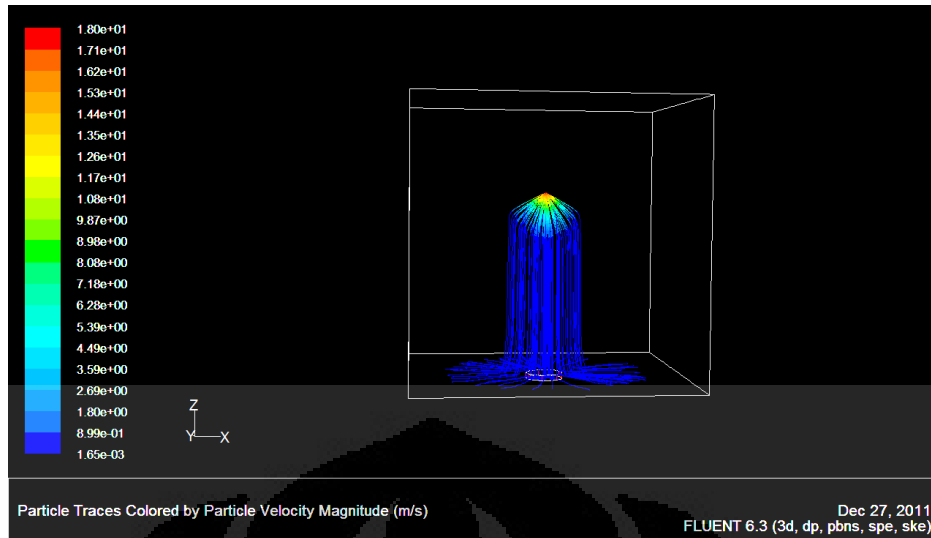
Pada gambar 4.13 merupakan hasil simulasi pada fluent dengan total *meshing* 800.000 pada gambit. Jenis nosel dan parameter yang dimasukkan yang telah disebutkan pada BAB 3 untuk tekanan 6 bar, 10 bar dan 15 bar. Dari gambar 4.11 terlihat bahwa pada setiap peningkatan tekanan meningkatkan kecepatan. Terlihat untuk tekanan 6 bar kecepatan maksimal pada simbol kontur kecepatan 10.6 m/s, dan tekanan 10 bar bisa menghasilkan kecepatan -



(a)



(b)

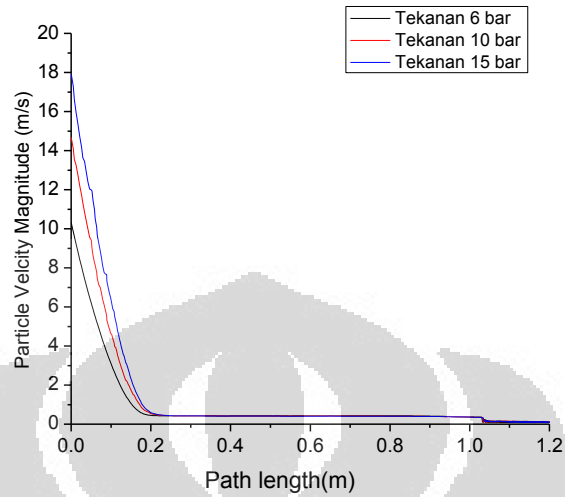


(c)

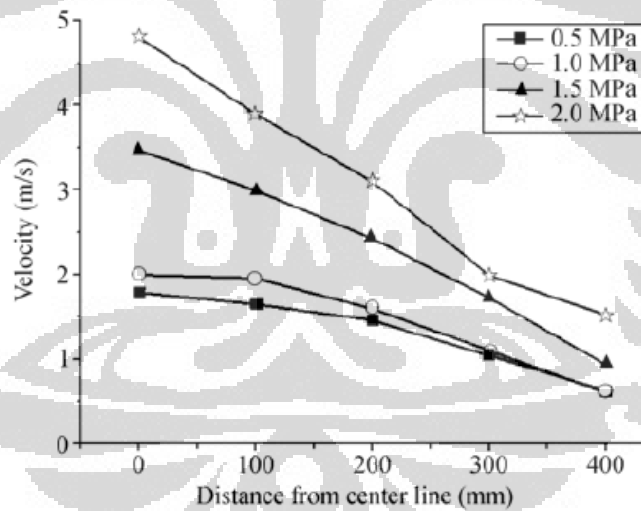
**Gambar 4.13** Hasil fluent pada Tekanan yang diberikan (a) tekanan 6 bar, (b) tekanan 10 bar, (c) tekanan 15 bar

maksimal 14.6 m/s dan untuk tekanan 15 bar kecepatan vertical maksimal aliran droplet bisa mencapai 18 m/s. Pada gambar 4.14 adalah kecepatan dari lintasan satu partikel menunjukkan bahwa tekanan yang diberikan lebih tinggi akan menghasilkan kecepatan yang lebih besar. Dalam hal ini kecepatan dari lintasan partikel yang memiliki kecepatan besar adalah daerah yang dekat dengan nosel yaitu pada jarak 0 - 0,2 mm berada pada tekanan 6 bar memiliki kecepatan 10.6 m/s, tekanan 10 bar dengan kecepatan maksimal 14,6 m/s dan untuk tekanan 15 bar kecepatan 18 m/s dan apabila kita korelasikan pada persamaan  $We_a = \frac{u^2 d \rho_l}{\sigma}$  dimana kecepatan relative pada daerah ini masih sangat besar sehingga akan menghasilkan  $D_{droplet} < D_{nozzle}$  dan daerah ini masuk pada daerah *Second wind-induced regime* :  $13 < We_a < 40.3$  Pada gambar 4.15 yang merupakan hasil eksperimen yang dilakukan oleh [FANG Yudong, ZHANG Yongfeng, LIN Lin, LIAO Guangxuan, HUANG Xin & CONG Beihua] dengan pengukuran menggunakan LDP untuk jenis nosel full cone sebagai verifikasi dalam hasil simulasi ini. Dari grafik distribusi kecepatan vertical hasil eksperimen tersebut menunjukkan pada setiap peningkatan tekanan akan meningkatkan kecepatan. Selain itu kecepatan dari spray yang diukur dari *center line* (daerah yang tepat

dibawah keluaran nosel) akan semakin menurun pada saat semakin jauh dari center line menjadi kecepatan yang lebih rendah.



Gambar 4.14 Path length vs particle velocity

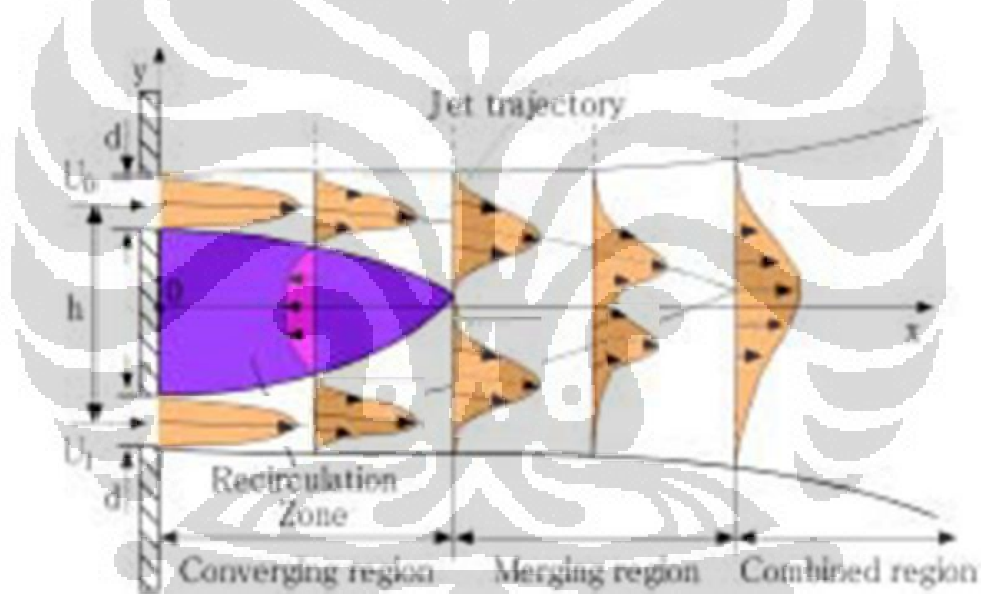


Gambar 4.15 Distribusi kecepatan vertical pada variasi tekanan

#### 4.2.2 Karakteristik untuk interaksi dua nosel

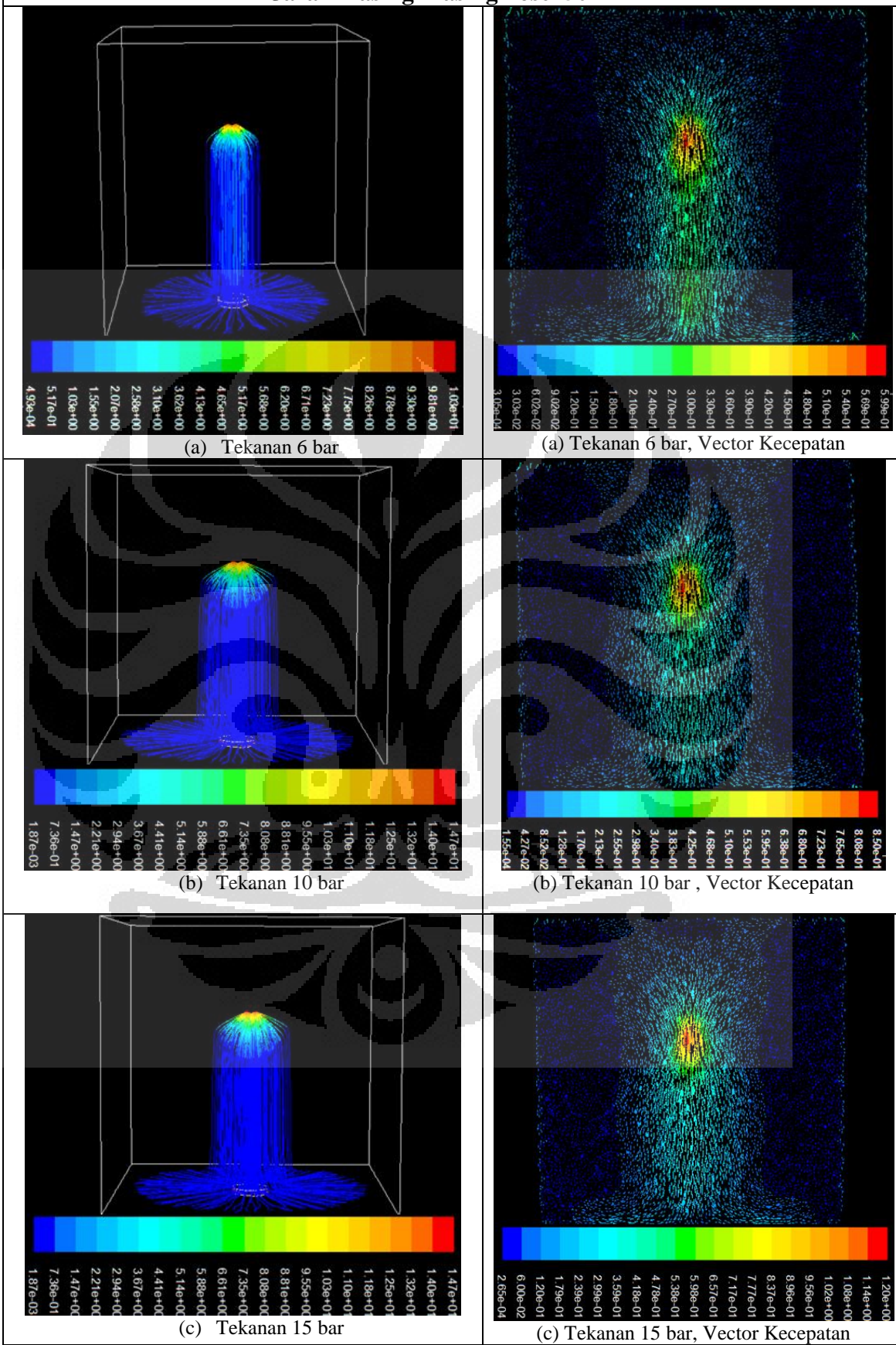
Pada pembahasan karakteristik dari interkasi dua nosel, disini dilakukan analisis hasil pemodelan dengan fluent 6.3 dengan model DPM untuk melihat daerah terbentuknya kecepatan yang seragam, yang mana metode yang digunakan sama dengan pada pencarian karakteristik untuk satu nosel. Untuk interaksi dua nosel dipotong *plane* pada bagian tengah dari interaksi tersebut dengan tujuan

untuk mendapatkan vector kecepatan dari udara yang dilewati oleh partikel dari droplet. Konsep interaksi dan penggabungan dua nosel direpresentasikan dengan aliran dua jet. Medan aliran interaksi dua jet kembar ini ditandai dengan tiga daerah yang berbeda. Wilayah ini yang pertama adalah daerah konvergen, daerah penggabungan dan daerah hasil dari penggabungan yang menyerupai jet tunggal. Daerah konvergen terbentuk dimulai pada bidang keluar nosel dan termasuk zona resirkulasi yang dibatasi oleh nosel berdekatan dan lapisan dalam dari jet individu. Gambar 4.16 dari interaksi dua jet membentuk penggabungan. Fitur penting dari aliran dua jet adalah yang entrainment dari cairan sekitarnya oleh jet turbulen, yang menyebabkan sub-atmosfer tekanan daerah antara jet dekat nosel. Jet menarik satu sama lain dan lintasan mereka menyimpang dari garis lurus sehingga akan terbentuk penggabungan.

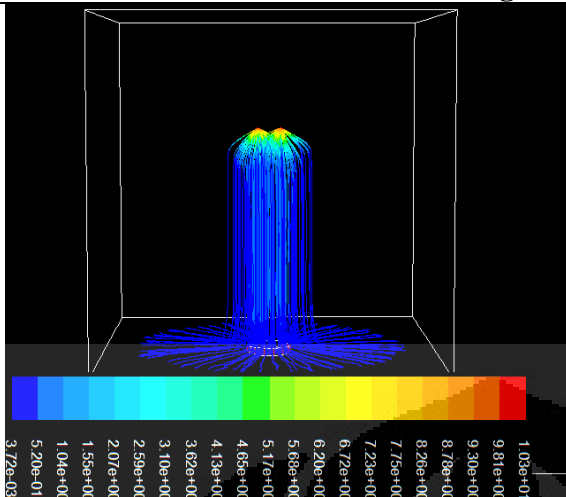


**Gambar 4.16** Skema ilustrasi dari aliran dua jet

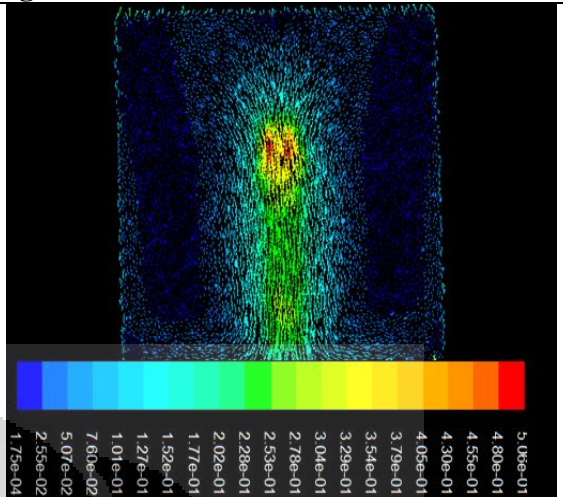
Jarak masing-masing nosel 50 mm



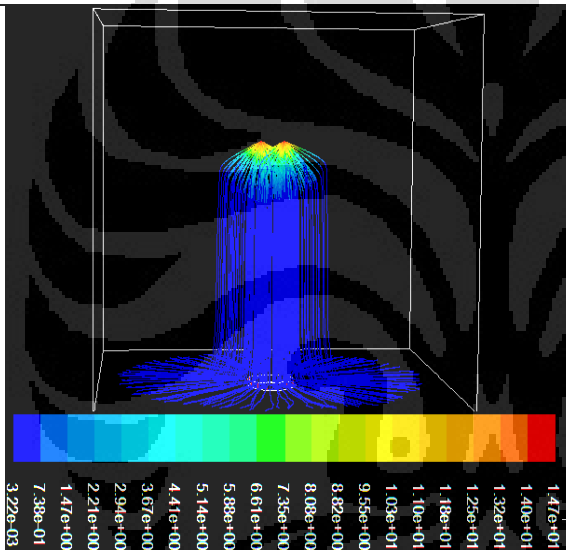
Jarak masing-masing nosel 100 mm



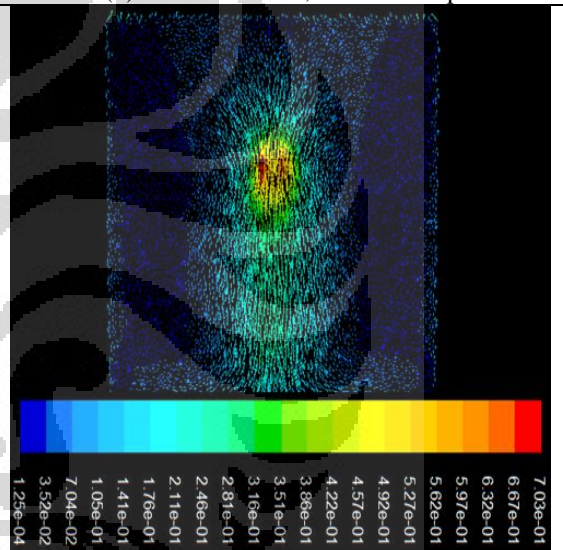
(d) Tekanan 6 bar



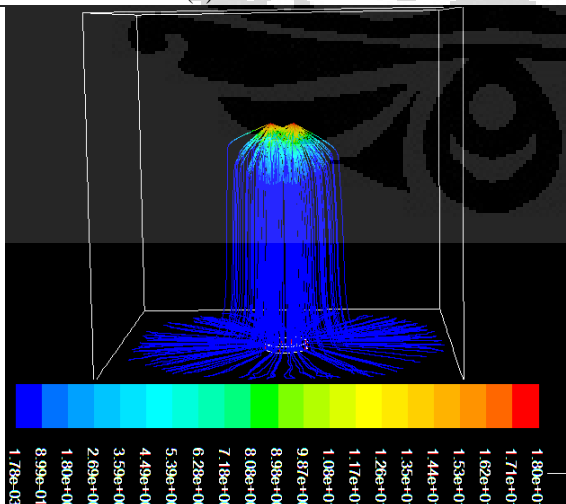
(d) Tekanan 6 bar, Vektor kecepatan



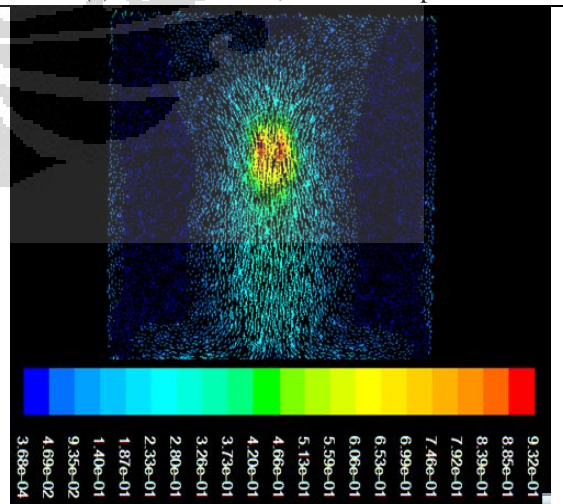
(e) Tekanan 10 bar



(e) Tekanan 10 bar, Vektor kecepatan



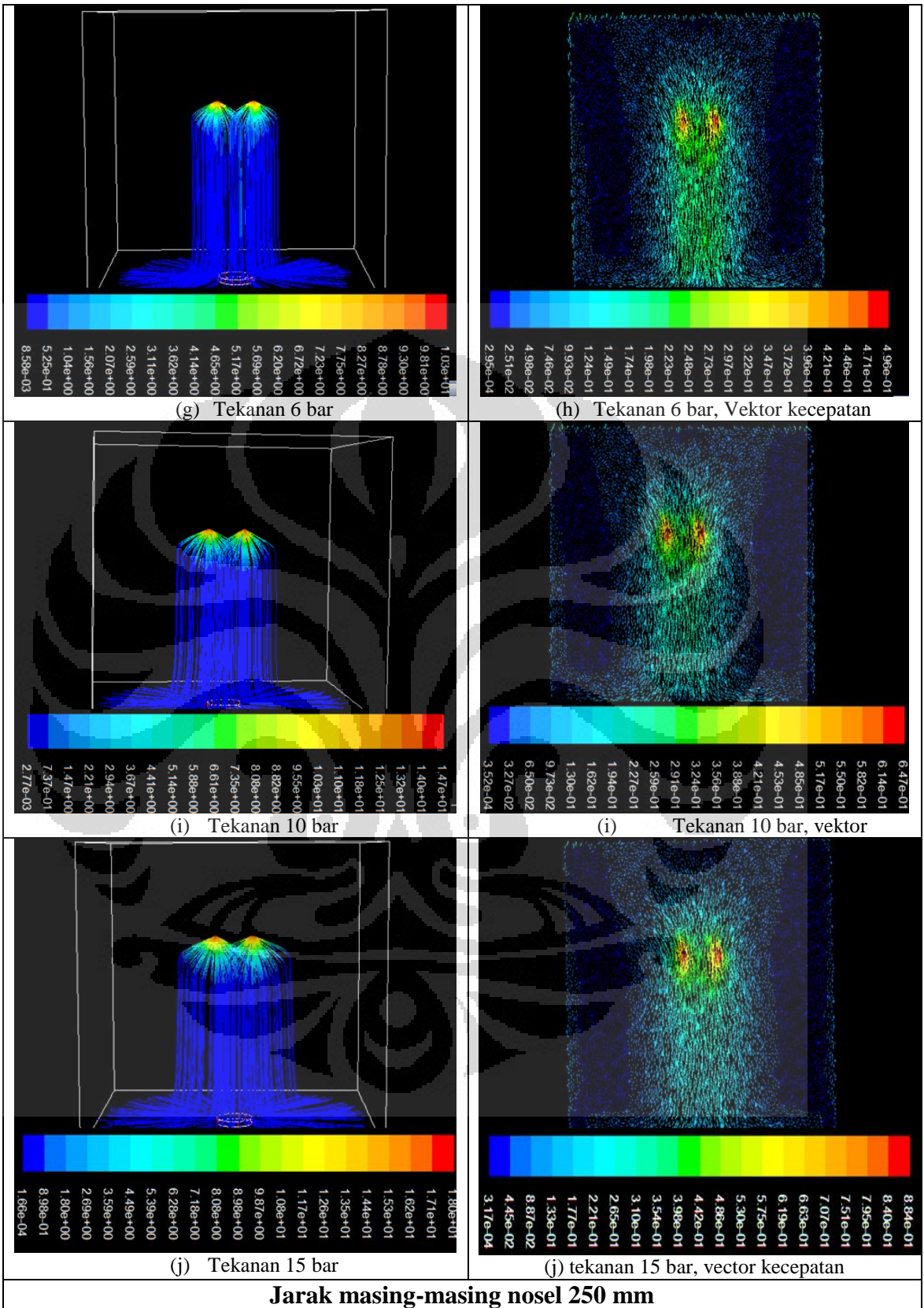
(f) Tekanan 15 bar

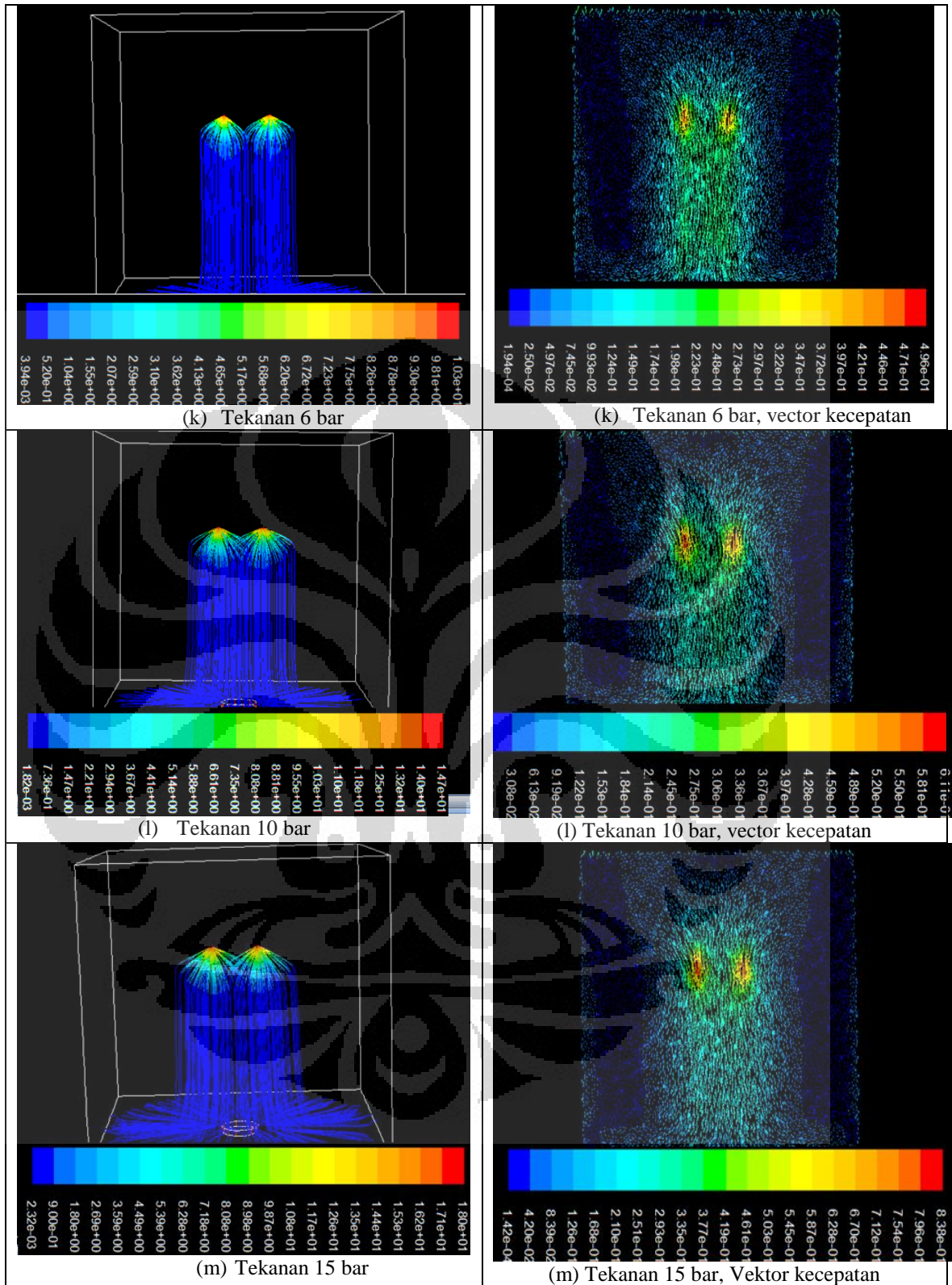


(f) Tekanan 15 bar, Vektor kecepatan

Jarak masing-masing nosel 200 mm







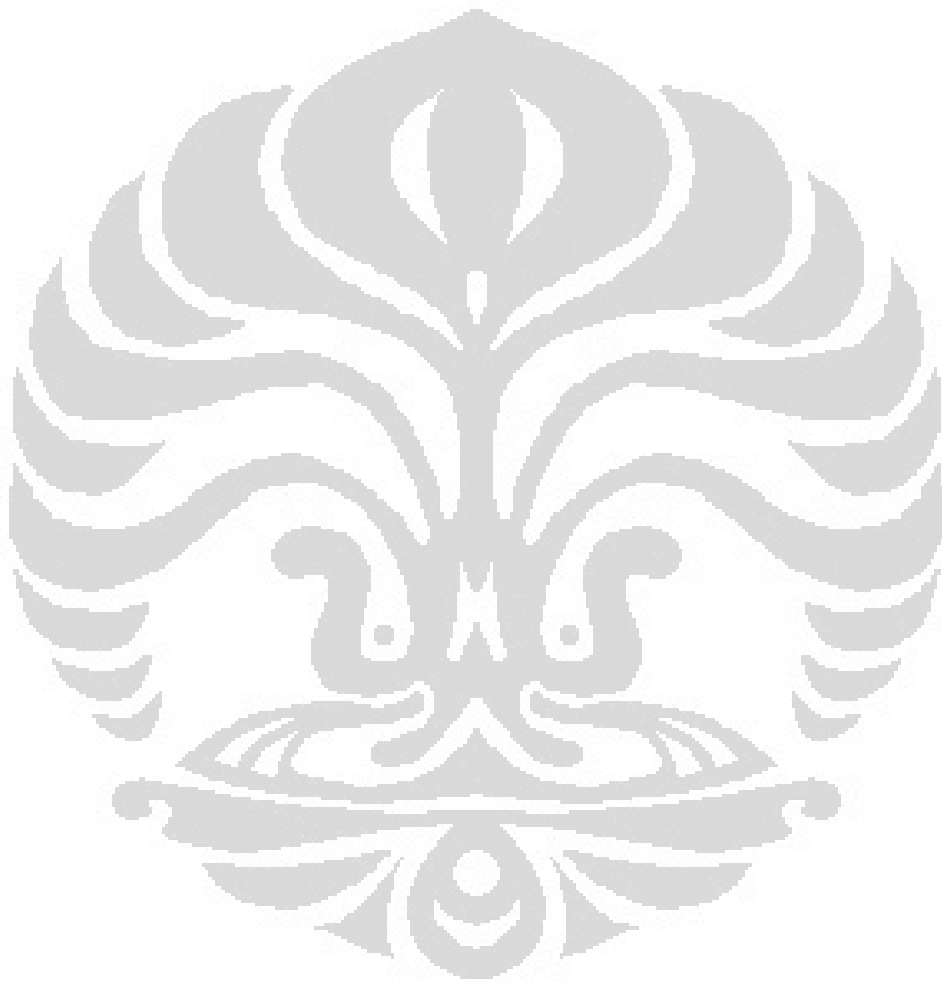
**Gambar 4.17** Interaksi dari dua nosel untuk variasi jarak, tekanan dan daerah penggabungan dari vector kecepatan lintasan droplet.

Dari gambar 4.17 menunjukkan beberapa perbandingan hasil vector kecepatan dari udara yang dilewati oleh partikel droplet untuk variasi jarak antara nosel dan variasi tekanan yang diberikan. Terlihat untuk jarak antara nosel yang lebih dekat seperti pada gambar (a),(b) dan (c) yang masing-masing penempatan nosel 50 mm akan membentuk kecepatan yang seragam pada jarak yang lebih pendek dari nosel. Untuk jarak masing-masing nosel 100 mm yang ditunjukkan oleh gambar (d), (e) dan (f) sudah mulai terlihat medan vector kecepatan yang agak terpisah namun kemudian pada jarak tertentu kecepatan tersebut mulai sama. Berbeda halnya apabila kita perhatikan untuk jarak masing-masing nosel yang lebih jauh seperti pada jarak 250 mm masing-masing nosel yang ditunjukkan pada gambar (k), (l) dan (m) dimana pembentukan kecepatan yang seragam tidak terlihat karena jarak yang terlalu jauh yang melebihi batas coverage nosel yang dimiliki oleh tipe nosel ini. Selain itu terlihat untuk setiap gambar bahwa vector kecepatan pada daerah yang dekat dengan nosel sangat tinggi yang kemudian akan turun sesuai dengan kecepatan yang dimiliki oleh partikel.

### **4.3 Pemadaman kebakaran *pool fire***

*Pool fire* adalah api yang terbakar secara difusi dari penguapan cairan bahan bakar dengan momentum bahan bakarnya yang sangat rendah. Pada penelitian ini akan dilakukan pemadaman kebakaran *pool fire* yang berukuran 10 cm dan 6.5 cm dengan volume untuk setiap pengambilan data 30 ml variasi tekanan, ketinggian dan penggunaan dua nosel untuk melihat waktu pemadaman yang paling efektif. Bahan bakar yang digunakan untuk pemadaman dengan menggunakan satu nosel adalah bensin dan methanol, kemudian bahan bakar yang digunakan untuk pemadaman dengan menggunakan dua buah nosel akan menggunakan bensin. Hal ini bertujuan untuk mengetahui waktu pemadaman untuk properties bahan bakar yang berbeda. Sebelum melakukan pemadaman akan dilakukan perhitungan karakteristik dari *pool fire* yang akan diuji. Karakteristik tersebut adalah laju pembakaran, laju kalor produksi, dan temperature nyala. Karena karakteristik tersebut merupakan hal yang sangat penting dalam pemadaman dengan kabut air ini.

#### **4.3.1 Karakteristik *Pool fire* Bahan Bakar Bensin dan Methanol**



persamaan dan hasil pengukuran langsung eksperimen tersebut sehingga didapatkan karakteristik untuk bensin dan methanol seperti dibawah ini.

**Tabel 4.3** Karakteristik pada bahan bakar bensin

<b>Material Properties</b>	<b>Gasoline</b>
Laju produksi kalor (HRR)diameter <i>pool fire</i> 10 cm (Kw/m <sup>2</sup> )	465.76
Laju produksi kalor(HRR) diameter <i>pool fire</i> 6.5 cm (kw/m <sup>2</sup> )	313.7
Laju pembakaran diameter <i>pool fire</i> 10 cm (Kw/m <sup>2</sup> ) ( kg/m <sup>2</sup> s)	10.41 x 10 <sup>-3</sup>
Laju pembakaran diameter <i>pool fire</i> 10 cm (Kw/m <sup>2</sup> ) ( kg/m <sup>2</sup> s)	7.01 x 10 <sup>-3</sup>
Laju Produksi Kalor (kJkg <sup>-1</sup> )	43700
Tinggi nyala api diameter <i>pool fire</i> 10 cm(cm)	60
Tinggi nyala api diameter <i>pool fire</i> 6.5 cm(cm)	27

**Tabel 4.4** Karakteristik pada bahan bakar methanol

<b>Material Properties</b>	<b>Gasoline</b>
Laju produksi kalor (HRR)diameter <i>pool fire</i> 10 cm (Kw/m <sup>2</sup> )	265.76
Laju produksi kalor(HRR) diameter <i>pool fire</i> 6.5 cm (kw/m <sup>2</sup> )	213.7
Laju pembakaran diameter <i>pool fire</i> 10 cm (Kw/m <sup>2</sup> ) ( kg/m <sup>2</sup> s)	5.41 x 10 <sup>-3</sup>
Laju pembakaran diameter <i>pool fire</i> 10 cm (Kw/m <sup>2</sup> ) ( kg/m <sup>2</sup> s)	2.01 x 10 <sup>-3</sup>
Laju Produksi Kalor (kJkg <sup>-1</sup> )	19800
Tinggi nyala api diameter <i>pool fire</i> 10 cm(cm)	25
Tinggi nyala api diameter <i>pool fire</i> 6.5 cm(cm)	13

#### 4.3.2 Waktu pemadaman *pool fire* pada variasi tekanan dan ketinggian dengan menggunakan satu nosel

Pada bagian ini akan dianalisis efektifitas proses pemadaman api *pool fire* dengan menggunakan satu nosel untuk beberapa variasi dan ketinggian. Dengan menggunakan dua jenis bahan bakar yang berbeda yaitu bensin dan methanol. Tabel 4.5 merupakan tabel karakteristik dari tipe nosel yang digunakan pada proses pemadaman ini yang dikondisikan pada tekanan 6 bar, 10 bar dan 15 bar.

**Tabel 4.5** Parameter water mist pada momentum yang berbeda

No	Tekanan Operasi	Flow rate(liter/menit)	Kecepatan awal(m/s)	K faktor	Diameter droplet rata-rata( $\mu$ m)
1	6 bar	0.156	11.2	0.46	110
2	10 bar	0.18	14.69	0.46	105
3	15 bar	0.22	17.95	0.46	100

**Tabel 4.6** Waktu pemadaman diameter *pool fire* bensin dan methanol diameter *pool fire* 6.5 cm

No	Bahan bakar	Tekanan Operasi	Diameter <i>pool fire</i>	Volume (ml)	Ketinggian dari discharge nozzle	Waktu pemadaman	Kapasitas air (ml)	Volume air (ml)
1	Bensin	6 bar	6.5 cm	30	1 m	2 detik	2.4	4.8
2	Bensin	10 bar	6.5 cm	30	1 m	1 detik	2.9	2.9
3	Bensin	15 bar	6.5 cm	30	1 m	1 detik	3.5	3.5
4	Bensin	6 bar	6.5 cm	30	0.5 m	1 detik	2.4	2.4
5	Bensin	10 bar	6.5 cm	30	0.5 m	1 detik	2.9	2.9
6	Bensin	15 bar	6.5 cm	30	0.5 m	1 detik	3.5	3.5
7	Metanol	6 bar	6.5 cm	30	1 m	2 detik	2.4	4.8
8	Metanol	10 bar	6.5 cm	30	1 m	2 detik	2.9	5.8
9	Metanol	15 bar	6.5 cm	30	1 m	50 detik	3.5	150.15
10	Metanol	6 bar	6.5 cm	30	0.5 m	4 detik	2.4	9.6
11	Metanol	10 bar	6.5 cm	30	0.5 m	9 detik	2.9	26.1
12	Metanol	15 bar	6.5 cm	30	0.5 m	5 detik	3.5	17.5

**Tabel 4.7** Waktu pemadaman diameter *pool fire* bensin dan methanol diameter *pool fire* 10 cm

No	Bahan bakar	Tekanan Operasi	Diameter <i>pool fire</i>	Volume (ml)	Ketinggian dari discharge nozzle	Waktu pemadaman	Flow rate (gr/s)	Volume air(ml)
1	Bensin	6 bar	10 cm	30	1 m	41 detik	2.4	98.4
2	Bensin	10 bar	10 cm	30	1 m	17 detik	2.9	49.3
3	Bensin	15 bar	10 cm	30	1 m	13 detik	3.5	45.5
4	Bensin	6 bar	10 cm	30	0.5 m	8 detik	2.4	19.2
5	Bensin	10 bar	10 cm	30	0.5 m	1 detik	2.9	2.9
6	Bensin	15 bar	10 cm	30	0.5 m	1 detik	3.5	3.5
7	Metanol	6 bar	10 cm	30	1 m	35 detik	2.4	84
8	Metanol	10 bar	10 cm	30	1 m	60 detik	2.9	174
9	Metanol	15 bar	10 cm	30	1 m	77 detik	3.5	269.5
10	Metanol	6 bar	10 cm	30	0.5 m	52 detik	2.4	124.8
11	Metanol	10 bar	10 cm	30	0.5 m	52 detik	2.9	150.8
12	Metanol	15 bar	10 cm	30	0.5 m	53 detik	3.5	185.5

Dari Tabel 4.6 pemadaman untuk diameter *pool fire* 6.5 cm terlihat bahwa untuk bahan bakar bensin ketinggian dari penempatan nosel memiliki efek yang cukup signifikan terhadap kecepatan pemadaman *pool fire*, terlihat dari beberapa

variasi untuk jarak yang lebih pendek waktu yang dibutuhkan untuk pemadaman semakin cepat sehingga disini untuk bahan bakar bensin momentum sangat berpengaruh terhadap kecepatan pemadaman[20]. Namun berbeda halnya dengan bahan bakar methanol untuk diameter *pool fire* 6.5 cm tekanan yang lebih tinggi dan jarak yang lebih dekat tidak menyebabkan pemadaman lebih cepat, hal ini terjadi karena pembakaran methanol lebih baik karena memiliki properties yang sangat ringan, mudah menguap, mudah terbakar yang menyebabkan api mudah untuk *reignition* sehingga tekanan dan posisi nosel tidak memberikan efek yang signifikan terhadap pemadaman api jenis methanol ini[19]. Dan terlihat untuk pemadaman bahan bakar methanol memerlukan volume air yang jauh lebih besar dari pada untuk pemadaman bahan bakar bensin. Selanjutnya untuk tabel 4.7 yang mana proses pemadaman *pool fire* yang berdiameter 10 cm terlihat hampir serupa dengan pembasan sebelumnya bahwa untuk bahan bakar bensin tekanan dan posisi nosel memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap efektivitas pemadaman bensin, terlihat dengan jarak penempatan nosel yang lebih dekat menyebabkan waktu pemadaman semakin cepat. Namun berbeda hanya untuk pemadaman pada methanol waktu yang dibutuhkan untuk pemadaman lebih lama[20].

#### **4.3.3 Perhitungan Kesetimbangan Energi pada Pemadaman Api Bahan Bakar Bensin**

Pada tahap ini dilakukan perhitungan secara teoritis dalam menghitung kesetimbangan 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  $\Delta H_c$  yang ditransfer dari nyala api ke bahan bakar (15%),  $\Delta H_c$  adalah panas dari pembakaran bensin (44700kJ/kg),  $\dot{m}_f$  adalah laju pembakaran dari bensin (0.055kg/s m<sup>2</sup>),  $L_{fv}$  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)[23].

$\dot{Q}_L$  adalah heat loss dari permukaan bahan bakar dan termasuk heat loss yang hilang kepermukaan. Dimana  $\varepsilon$  adalah emisistas dari bensin (0.9),  $\sigma$  adalah konstanta Boltzmann (5.67 x 10<sup>8</sup> W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>),  $T_{fs}$  adalah temperatur dari nyala api pada permukaan bahan bakar (600°C),  $T_{fo}$  adalah temperatur bahan bakar bensin,  $\delta$  adalah tebal layer dari bahan bakar yang dipanaskan dibawah permukaan bahan bakar (0.03m).  $K_f$  adalah konduktifitas panas dari bahan bakar (0.145 x 10<sup>-3</sup> kJ/s.m°C),  $\dot{m}_w$  adalah laju keluaran dari kabut air pada konfigurasi 3 (2.89 x 10<sup>-3</sup>kg/s),  $L_{vw}$  adalah panas laten dari penguapan air (2.5 kJ/kg).

Sehingga kesetimbangan energi pada permukaan bensin adalah:

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

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

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

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

$$S = -2.2 \times 10^6 kW$$

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 yang dilakukan



pada tekanan 6 bar dengan ketinggian 1 meter, dengan laju kabut air yang dihasilkan 0.156 liter/menit dapat memadamkan api bahan bakar bensin pada *pool fire* ukuran 6,5 dan 10 cm.

#### 4.3.4 Effektivitas pemadaman dengan variasi jarak antara dua nosel

Penempatan posisi nosel dan jarak antara nosel untuk variasi multi nosel merupakan faktor yang sangat penting dalam mencari efektivitas dalam pemadaman api. Dalam analisis kali ini akan dibahas secara mendasar penggunaan dua buah nosel untuk pemadaman api yang ditempatkan pada jarak yang berbeda yaitu jarak masing-masing antara nosel 5 cm, 10 cm, 20 cm dan 25 cm. Penggunaan dua buah nosel atau lebih bertujuan untuk mencari daerah *coverage* yang lebih besar sehingga bisa memadamkan api yang berkapasitas besar. Dalam hal ini perlu diketahui batas maksimum dari jarak antara nosel sehingga tetap memiliki *coverage* yang uniform sehingga mampu memadamkan api dengan baik.

**Tabel 4.8** Waktu pemadaman untuk jarak masing-masing nosel 5 cm

NO	Bahan bakar	Tekanan Operasi	Diameter pool fire	Volume (ml)	Jarak masing-masing nozzle	Waktu pemadaman	Kapasitas Volume (ml)
1	Bensin	1 bar	10 cm	30	5 cm	34 detik	1.1 37.4
2	Bensin	6 bar	10 cm	30	5 cm	2 detik	4.7 9.4
3	Bensin	10 bar	10 cm	30	5 cm	1 detik	5.9 5.9
4	Bensin	15 bar	10 cm	30	5 cm	1 detik	7.2 7.2
5	Bensin	1 bar	6.5 cm	30	5 cm	5 detik	1.1 5.1
6	Bensin	6 bar	6.5 cm	30	5 cm	2 detik	4.7 9.4
7	Bensin	10 bar	6.5 cm	30	5 cm	1 detik	5.9 5.9
8	Bensin	15 bar	6.5 cm	30	5 cm	1 detik	7.2 7.2

**Tabel 4.9** Waktu pemadaman untuk jarak masing-masing nosel 10 cm

No	Bahan bakar	Tekanan Operasi	Diameter pool fire	Volume (ml)	Jarak masing-masing nozzle	Waktu pemadaman	Flow rate (gr/s)	Volume (ml)
1	Bensin	1 bar	10 cm	30	10 cm	71 detik	1.1	78.1
2	Bensin	6 bar	10 cm	30	10 cm	17 detik	4.7	79.9
3	Bensin	10 bar	10 cm	30	10 cm	3 detik	5.9	17.7
4	Bensin	15 bar	10 cm	30	10 cm	2 detik	7.2	14.4
5	Bensin	1 bar	6.5 m	30	10 cm	10 detik	1.1	10.1
6	Bensin	6 bar	6.5cm	30	10 cm	2 detik	4.7	9.4
7	Bensin	10 bar	6.5 m	30	10 cm	1 detik	5.9	5.9
8	Bensin	15 bar	6.5cm	30	10 cm	1 detik	7.2	7.2

**Tabel 4.10** Waktu pemadaman untuk jarak masing-masing nosel 20 cm

NO	Bahan bakar	Tekanan Operasi	Diameter pool fire	Volume (ml)	Jarak masing-masing nozzle	Waktu pemadaman	Kapasitas (gr/s)	Volume (ml)
1	Bensin	1 bar	10 cm	30	20 cm	106 detik	1.1	116.6
2	Bensin	6 bar	10 cm	30	20 cm	31 detik	4.7	145.7
3	Bensin	10 bar	10 cm	30	20 cm	26 detik	5.9	153.4
4	Bensin	15 bar	10 cm	30	20 cm	9 detik	7.2	64.8
5	Bensin	1 bar	6.5 cm	30	20 cm	6 detik	1.1	6.6
6	Bensin	6 bar	6.5 cm	30	20 cm	5 detik	4.7	23.5
7	Bensin	10 bar	6.5 cm	30	20 cm	6 detik	5.9	35.4
8	Bensin	15 bar	6.5 cm	30	20 cm	6 detik	7.2	43.2

**Tabel 4.11** Waktu pemadaman untuk jarak masing-masing nosel 25 cm

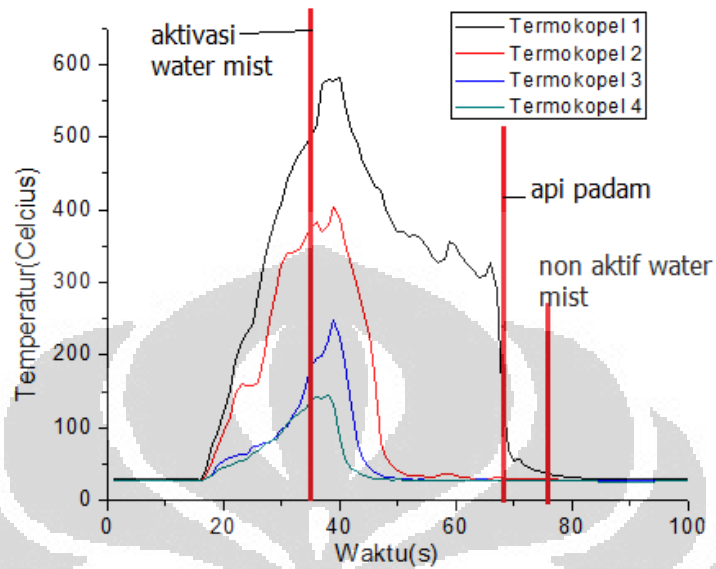
NO	Bahan bakar	Tekanan Operasi	Diameter pool fire	Volume (ml)	Jarak masing-masing nozzle	Waktu Pemadaman	Kapasitas (gr/s)	Volume (ml)
1	Bensin	1 bar	10 cm	30	25 cm	209 detik	1.1	229.9
2	Bensin	6 bar	10 cm	30	25 cm	61 detik	4.7	286.7
3	Bensin	10 bar	10 cm	30	25 cm	13 detik	5.9	76.7
4	Bensin	15 bar	10 cm	30	25 cm	12 detik	7.2	86.4
5	Bensin	1 bar	6.5 cm	30	25 cm	148 detik	1.1	162.8
6	Bensin	6 bar	6.5 cm	30	25 cm	57 detik	4.7	267.9
7	Bensin	10 bar	6.5 cm	30	25 cm	56 detik	5.9	330.4
8	Bensin	15 bar	6.5 cm	30	25 cm	6 detik	7.2	43.2

Tabel 4.8, 4.9, 4.10 dan 4.11 menunjukkan beberapa variasi penempatan jarak antara nosel mulai dari jarak masing-masing antara nosel 5 cm, 10 cm, 20 cm dan 25 cm. Pada proses pemadaman tersebut menggunakan bahan bakar yang sama yaitu bensin yang ditempatkan pada dua wadah yang berukuran 10 cm dan 6.5 cm. Dari hasil pengukuran tersebut terlihat perbedaan waktu pemadaman yang cukup signifikan untuk beberapa jarak yang ditentukan tersebut. Jarak antara nosel masing-masing 5 cm memiliki waktu pemadaman yang lebih cepat untuk setiap variasi tekanan dan diameter *pool fire* yang diberikan dibandingkan dengan yang lain. Hal ini ditunjukkan dengan lama waktu pemadaman lebih cepat dan volume yang dihabiskan lebih sedikit. Secara garis besar kecepatan waktu pemadaman untuk bahan bakar bensin dari beberapa variasi jarak antara nosel bisa dituliskan bahwa jarak antara nosel 5 cm lebih cepat daripada 10 cm lebih cepat daripada 20 cm dan lebih cepat daripada 25 cm jarak antara nosel. Sehingga setelah mengetahui waktu pemadaman untuk beberapa variasi jarak tersebut bisa menentukan untuk desain yang tepat dan coverage sesuai dengan yang kita inginkan.

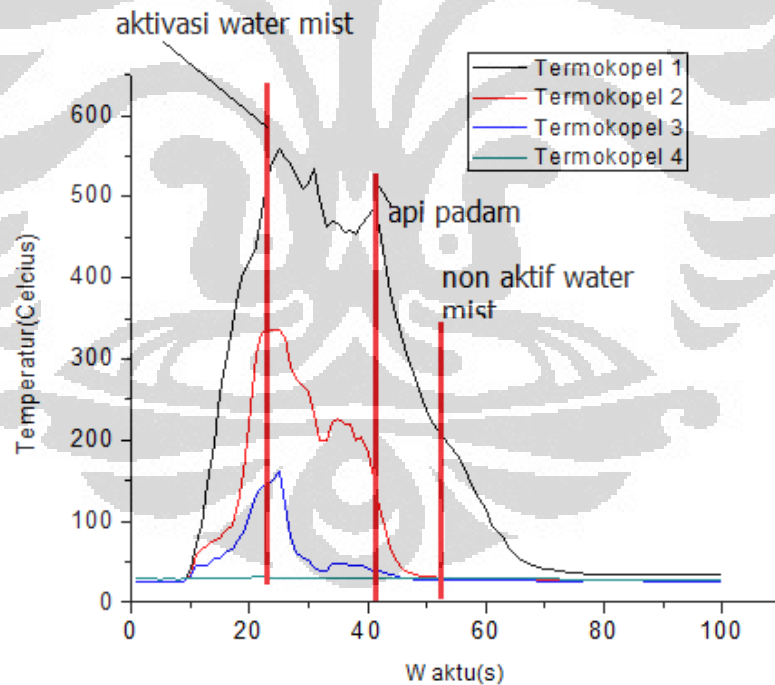
#### 4.3.5 Interaksi water mist dengan api

Pada pembahasan kali ini akan dilihat aliran kabut air dan pengaruhnya pada api setelah dilakukan penyemprotan, awalnya terjadi penurunan ketinggian nyala api terlebih dahulu. Kemudian, *water mist* akan mencapai inti uap bahan bakar dan membuat bahan bakar uap terkonveksi yang kemudian sedikit demi sedikit intensitas api akan turun dan akhirnya api padam. Seperti diperkenalkan dalam karya W. W. Bannister dkk [21]. Interaksi antara *water mist* dan bahan bakar panas merupakan masalah penting dan kompleks. Bannister dkk [23] Sebagaimana diperkenalkan, aplikasi *water mist* pada bahan bakar yang tidak larut dalam air, akan menghasilkan peningkatan penguapan bahan bakar, dan meningkatkan intensitas api. Selain itu momentum *water mist* merupakan hal yang penting dalam pemadaman api, dari hasil eksperimen mengungkapkan bahwa, momentum dari *water mist* sangat berpengaruh terhadap efektifitas pemadaman api *pool fire*. Pertama aliran jet *water mist* mencapai inti bahan bakar kaya uap dan 'mendorong' uap bahan bakar keluar dari core. Sangat penting untuk menyadari bahwa, momentum *water mist* yang dibahas di sini adalah momentum *water mist* di daerah inti bahan bakar kaya uap. Pada gambar 5.4 merupakan hubungan waktu pemadaman dengan temperatur untuk tekanan 6 bar, 10 bar dan 15 bar pada pemadaman diameter *pool fire* 10 cm. Gambar 4.19 (a), (b) dan (c) grafik tersebut menunjukkan pada saat pengaktifan *water mist* terjadi peningkatan temperatur api terlebih dahulu hal ini terjadi akibat peningkatan intensitas api dimana pada saat pemadaman dengan *water mist* untuk bahan bakar akan mempengaruhi titik flash point. Oleh karena itu, uap bahan bakar akan terbakar seperti dalam proses difusi dan membentuk api membesar seperti bola. Difusi uap bahan bakar yang disebabkan oleh aliran jet *water mist* merupakan faktor kunci untuk *water mist* yang menghasilkan bahan bakar uap difusi. Aliran dari jet *water mist*, dengan momentum yang cukup, akan 'mendorong' uap bahan bakar keluar dari core-nya, dan menyebabkan ekspansi api, hal ini diverifikasi juga dengan gambar 4.19 (a), (b) dan (c), dan Gambar visual video pada gambar 4.20 menunjukkan pada saat pengaktifan kabut air terjadi pola api yang membesar yang mana ditunjukkan oleh peningkatan temperatur terlebih dahulu dan setelah itu temperatur kemudian turun yang relevan dengan

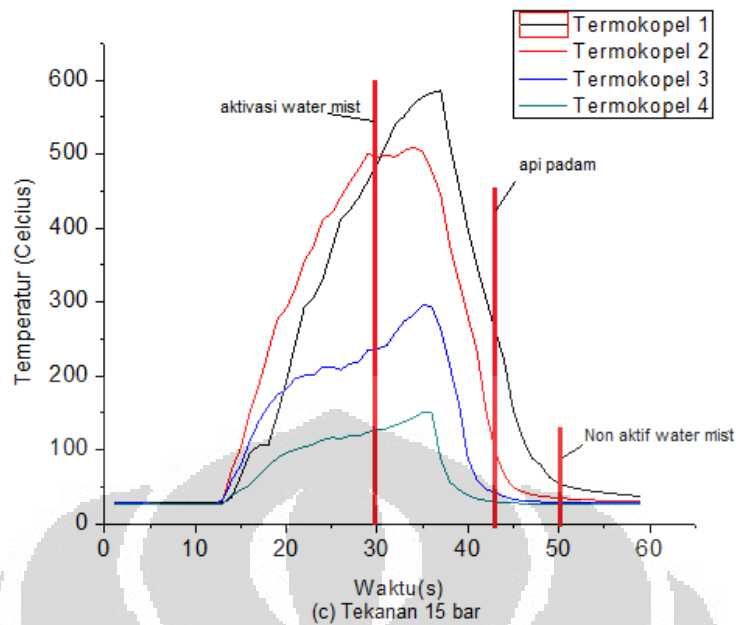
penurunan intensitas api yang akhirnya api mengecil dan kemudian api akan padam[20].



(a) Tekanan 6 bar









(b) Tekanan 10 bar

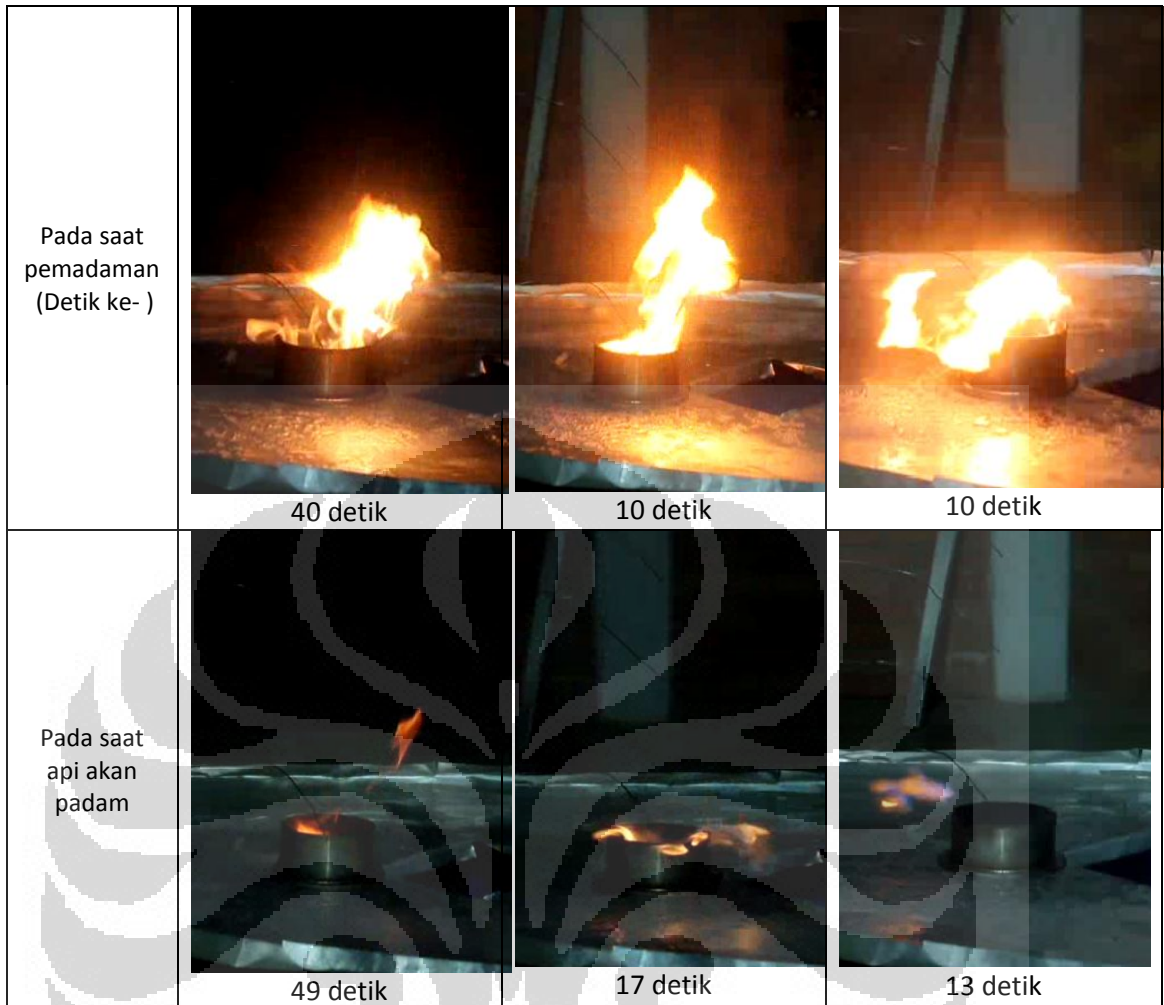


**Gambar 4.19** Temperatur bensin dan api pada saat aktivasi water mist pada tekanan yang berbeda

Pada proses pemadaman api menunjukkan bahwa efisiensi pemadaman kabut air meningkat dengan meningkatnya tekanan, dan pendinginan permukaan bahan bakar sebagai efek kabut air juga meningkat. Hal ini terbukti dari waktu pemadaman yang lebih cepat pada saat tekanan yang diberikan tinggi dimana untuk tekanan 6 bar api akan mati pada waktu 41 detik, untuk tekanan 10 bar pada waktu 17 detik dan untuk tekanan 15 bar akan padam pada waktu 13 detik. Hal ini terjadi karena kabut air yang disemprotkan pada tekanan tinggi memiliki momentum yang cukup untuk mengatasi perlawanan dari turbulensi api sehingga kabut air bisa mencapai area pembakaran, ketika fluks kabut air cukup, laju penguapan dan kemampuan penyerapan panas oleh kabut air cukup kuat sehingga penurunan suhu berlangsung dengan cepat. Ketika panas meradiasi dan mengkonveksi ke bagian minyak lain tidak cukup mendukung pembakaran kembali, suhu dari minyak *pool fire* akan berkurang dengan cepat sampai akhirnya api akan padam. Namun pada saat tekanan yang diberikan tekanan lebih rendah, kabut air tidak dapat mencapai area pembakaran sehingga momentum yang dihasilkan pun berkurang dan kabut air tidak mencapai seluruh permukaan area pembakaran yang menyebabkan pendinginan permukaan mekanisme kabut air tidak dapat bekerja secara effective. Dari analisis di atas, dapat disimpulkan, bahwa laju aliran air dan momentum kabut air merupakan tiga faktor yang paling

penting untuk pemadaman kebakaran *pool fire*. Pertama, cakupan air (*spray coverage*) harus cukup besar untuk menutupi seluruh permukaan *pool fire* dan memadamkan api secara keseluruhan diatas permukaan *pool fire*, jika tidak api yang tidak semprotkan oleh kabut air tidak akan padam, dan panas yang dilepaskan oleh api akan bisa mengatasi efek pendinginan dari kabut air tersebut. Kedua, jumlah air yang disemprotkan harus cukup untuk menyerap panas yang cukup dari api dan bisa mendinginkan minyak di bawah temperatur pengapian nya. Ketiga, kabut air harus memiliki momentum yang cukup untuk menembus membanggakan api dan mencapai permukaan bahan bakar.

Kondisi pemadaman	Tekanan 6 bar	Tekanan 10 bar	Tekanan 15 bar
Sebelum Pengaktifan water mist (detik ke- )			
Pengaktifan water mist (detik ke- )	 0 detik	 0 detik	 0 detik



**Gambar 4.20** Visualiasi pemadaman api *pool fire* pada variasi tekanan water mist

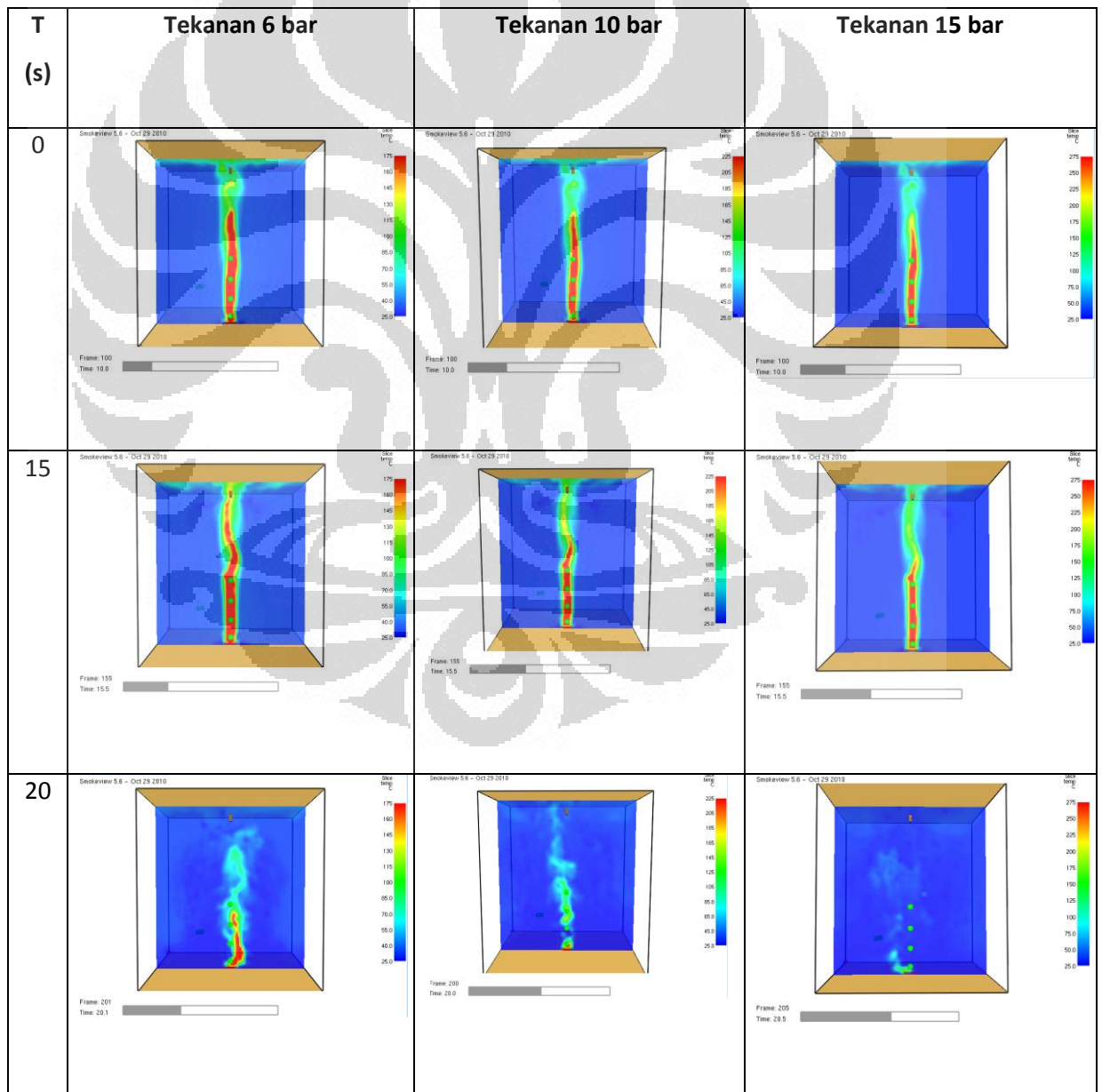
#### 4.4 Simulasi FDS untuk pemadaman api *pool fire*

Simulasi menggunakan *software* FDS dilakukan untuk mengetahui interaksi water mist dengan api dan distribusi temperatur yang dihasilkan oleh suatu pembakaran bensin premium. Bahan bakar yang digunakan dalam simulasi ini adalah *gasoline* di mana *properties* dari bahan bakar Tabel 3.5. Laju pembakaran dari bahan bakar bensin premium sangat dipengaruhi oleh *properties* dari bensin. Besarnya nilai *heat combustion*, *heat vaporization*, *specific heat*, dan *conductivity thermal* sangat berpengaruh pada besarnya nyala api. Selain itu, besarnya nyala api juga dipengaruhi oleh luas penampang bahan bakar yang digunakan.

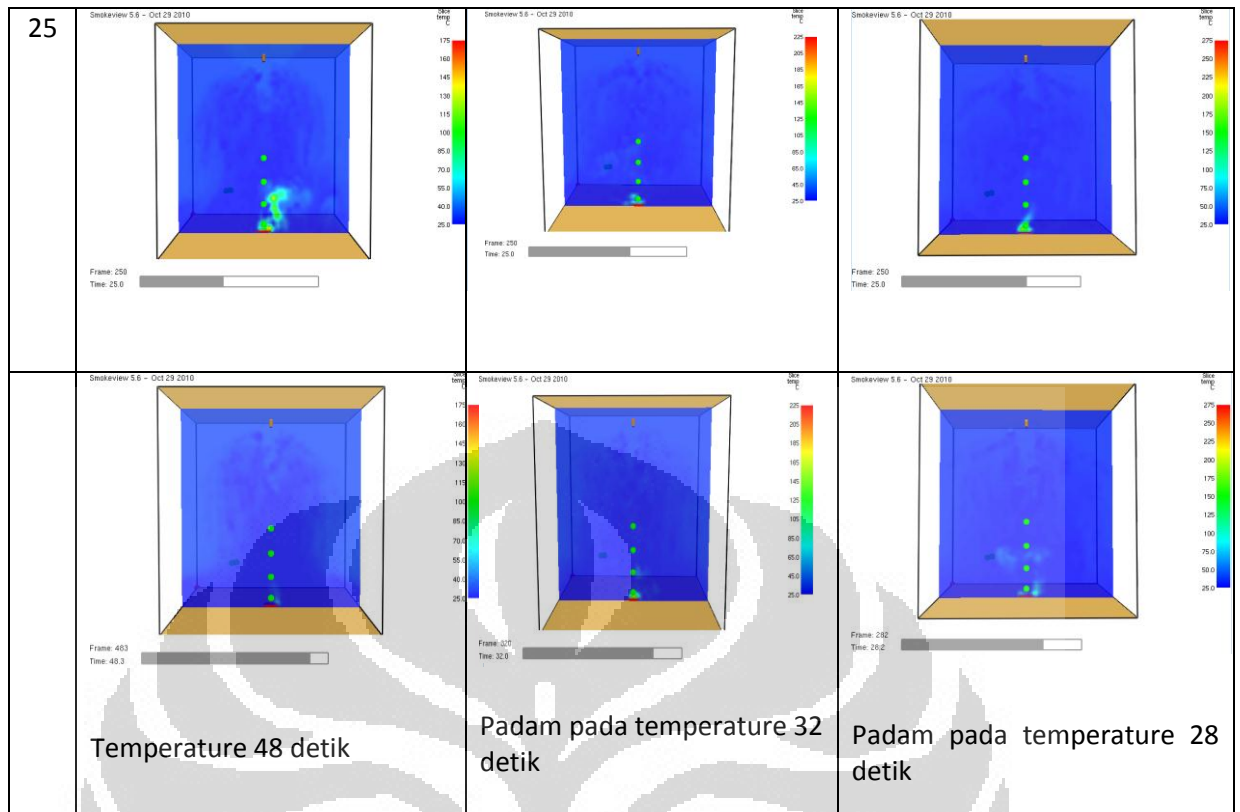
Penelitian ini menggunakan Fire dynamic Simulation 5 (FDS, Ver.5.0) untuk mensimulasikan interaksi dari api dan kabut air.

Api-didorong mengalir dalam FDS dimodelkan menurut LES (Large Eddy Simulation) turbulensi model, campuran fraksi model pembakaran. Semprotan water mist mengalir di antara tetesan air dan aliran gas dimodelkan oleh eulerian-lagrangian. Penggunaan FDS cocok untuk berbagai macam temperatur dan berbagai jenis skenario aliran fluida, termasuk kebakaran di tempat terbuka maupun pada ruang tertutup.

Gambar 4.21 merupakan hasil simulasi dengan menggunakan FDS 5 pada proses pemadaman api untuk 3 jenis variasi tekanan yaitu pada tekanan 6 bar, 10 bar dan 15 bar. Dari hasil simulasi untuk distribusi temperatur pada slice tersebut



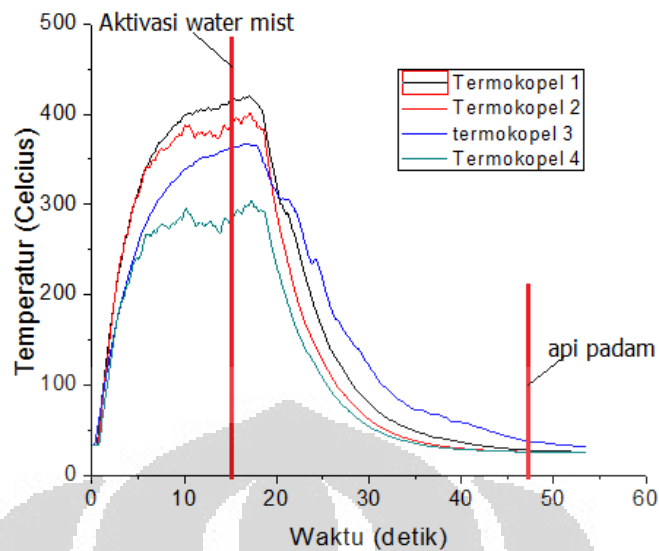




**Gambar 4.21** Distribusi temperatur pada saat pemadaman *pool fire* dengan tekanan berbeda

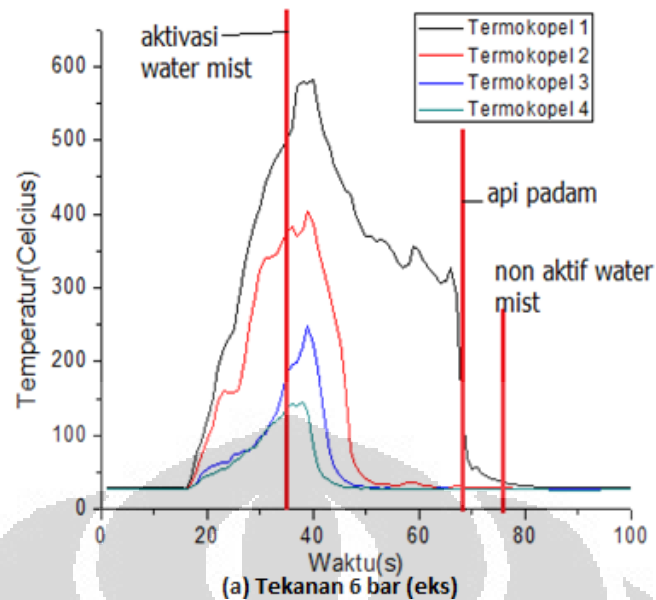
diperoleh bahwa api akan padam dengan cepat pada saat diberi tekanan yang lebih besar. Pada saat water mist mulai mencapai permukaan api tersebut menguap lalu menyerap panas yang dihasilkan oleh api. Ada beberapa yang mempengaruhi pemadaman pada api yaitu[19] :

- a) Pendinginan fase gas dan pendinginan permukaan bahan bakar.
- b) Pengurangan oksigen dan pengurangan penguapan material *flammable*
- c) Pendinginan permukaan bahan bakar dengan cara water mist mengalami penguapan.
- d) Pelemahan radiasi api dan efek kinetic

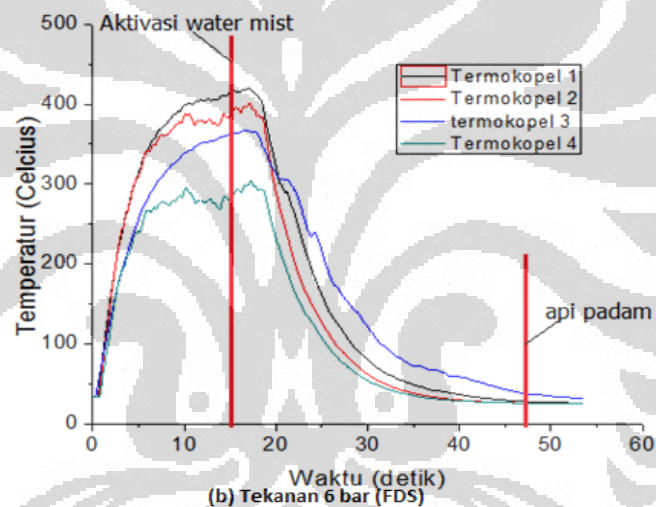


**Gambar 4.22** Temperatur bensin dan api pada saat aktivasi water mist pada tekanan yang berbeda (FDS)

Dari gambar 4.22 menunjukkan distribusi temperatur pada termokopel yang ditempatkan pada jarak 10 cm masing-masing dari permukaan *pool fire*, yang mana pada grafik tersebut menunjukkan perbedaan temperature pada setiap ketinggian. Pada saat aktivasi water mist pada detik ke 15, bisa terlihat temperature tidak langsung turun namun mengalami peningkatan intensitas api pada saat awal terjadi interaksi antara water mist dengan permukaan api. Termokopel 1 memiliki termpertatur maksimal 400 °C yang kemudian diikuti oleh termokopel 2, termokopel 3 dan termokopel 4 yang masing-masing jarak 10 cm. Penurunan termokopel selain karena intensitas api menurun hal ini terjadi karena tetesan water mist yang menempel pada termokopel yang menyebabkan penurunan termokopel yang cukup signifikan.



(a) Tekanan 6 bar (eks)

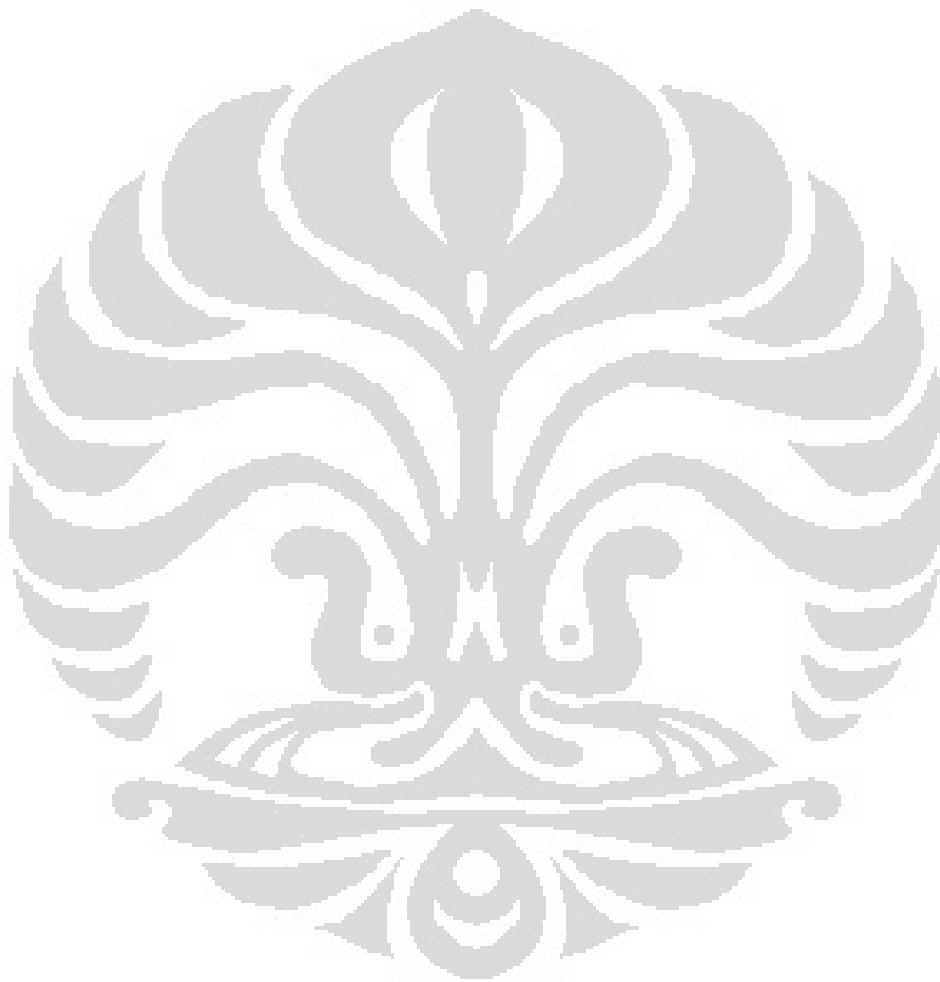


(b) Tekanan 6 bar (FDS)

**Gambar 4.23** Perbandingan grafik (a)hasil Eksperimen, (b) Hasil simulai FDS pada tekanan 6 bar

Perbandingan hasil eksperimen dengan hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.23 (a) dan Gambar 4.23 (b). Temperatur naik pada saat api mulai dinyalakan, terlihat pada kedua grafik terjadi peningkatan temperatur dan kemudian turun setelah pengaktifan water mist, ini terjadi baik pada hasil eksperimen dan hasil simulasi FDS. Termokopel pada hasil eksperimen menunjukkan fluktuasi yang cukup tinggi pada saat mulai aktivasi water mist, beda halnya jika kita amati grafik hasil simulasi FDS dimana distribusi dari temperatur cenderung smooth. Nilai temperatur maksimal yang dicapai pada eksperimen lebih tinggi daripada dari hasil simulasi khususnya untuk termokopel 4 yang mana

temperatur maksimal untuk eksperimen  $570^{\circ}$  celcius, hal ini terjadi karena pada simulasi termokopel yang diletakan dekat dengan bahan bakar FDS membaca temperatur tersebut kecil, karena pada FDS spesifikasi bahan bakar dianggap solid.



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Karakteristik dari *spray water mist* sudah dianalisis menggunakan teknik pengolahan citra dan teknik ini mampu menggambarkan sebaran spray untuk satu nosel dan interaksi dari dua nosel. Penelitian dengan menggunakan satu nosel didapatkan bahwa tekanan yang lebih tinggi menghasilkan diameter *spray* dan *coverage area* yang lebih lebar dimana diameter *spray* akan terus meningkat pada jarak yang lebih jauh dari *discharge* nosel. Namun, pada jarak tertentu diameter *spray* akan konstan bahkan nilai ini akan mengecil karena pengaruh tekanan udara ambien. Hasil pengolahan citra untuk distribusi densitas telah diverifikasi juga oleh pengukuran fluks massa dimana gray level yang tinggi menunjukkan besarnya nilai densitas. Hasil simulasi fluent 6.3 menggambarkan distribusi kecepatan pada partikel dan kecepatan yang paling besar berada pada daerah 0-0.2 m dari *discharge* nosel. Untuk dua interaksi dua nosel daerah *uniform* terbentuk lebih cepat pada jarak penempatan nosel yang lebih dekat dan tekanan yang lebih besar. Hasil simulasi Fluent 6.3 bisa memverifikasi hasil eksperimen untuk 2 nosel, yang di representasikan dalam vektor kecepatan, dan Simulasi FDS pada pemadaman memiliki similaritas pada waktu pemadaman dan distribusi temperatur.

Hal yang paling penting pada efektifitas pemadaman api adalah. Pertama, cakupan air(*spray coverage*). Kedua, kapasitas atau jumlah air yang disemprotkan harus cukup untuk menyerap panas yang cukup dari api, sehingga bisa mendinginkan minyak di bawah temperatur pengapian nya. Ketiga, momentum yang cukup untuk menembus membanggakan api dan mencapai permukaan bahan bakar.

#### **5.2 Saran**

1. Memverifikasi pengambilan data karakteristik dengan PIV atau laser sheet
2. Melakukan pengambilan data dengan variasi jumlah nosel dan peletakan nosel.

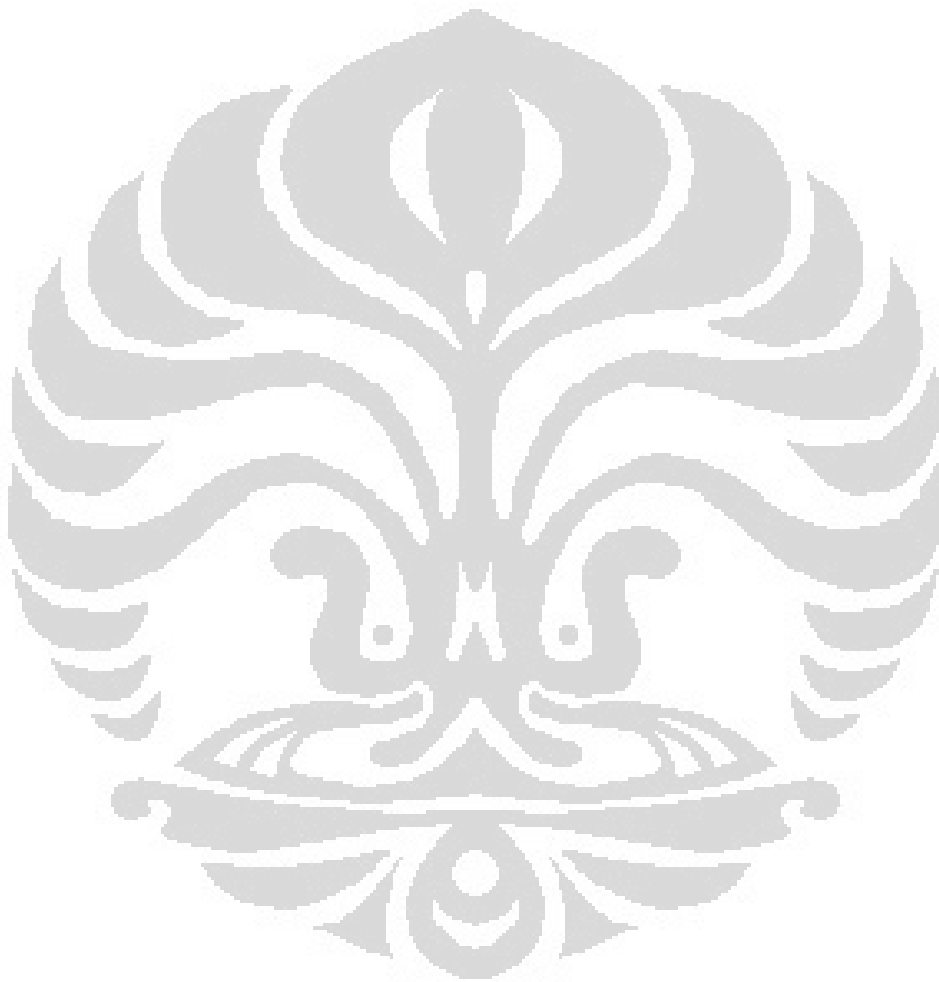
## DAFTAR REFERENSI

- [1] Bjarne Paulsen Husted, Per Petersson, Ivar Lund, and Toran Holmstedt. Comparison of PIV and PDA *droplet* velocity measurement techniques on two high-pressure water mist nozzles. *Fire safety Journal* 44 2009.
- [2] Paolo E. Santangelo. Characterization of high-pressure water-mist sprays: Experimental analysis of *droplet* size and dispersion. *Experimental Thermal and Fluid Science* 34 2010.
- [3] X.S. Wang, X.P. Wu, G.X. Liao, Y.X. Wei, J. Qin. Characterization of a water mist based on digital particle images. *Experiments in Fluids* 33 2002.
- [4] San-Ping Ho. Water Spray Suppression and Intensification of High Flash Point Hydrocarbon *Pool fires*. A Dissertation 2009.
- [5] Petrus Paryono, Erick Kurniawan, Esther Wibowo. Image processing 2008.
- [6] Robert Andrew Hart MEng. Numerical Modelling of tunnel fires and water mist suppression. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy December 2005.
- [7] Mawhinney, J. R., "Principles of Water mist Fire Suppression Systems," NFPA Handbook – 18<sup>th</sup> edition, 1997
- [8] NFPA 750, "Standard for the Installation of Water mist Fire Protection Systems," National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, 1996 Edition.
- [9] Back, G. G., "An Overview of Water mist Fire Suppression System Technology," Proceedings: Halon Alternatives Technical Working Conference, Albuquerque, New Mexico, USA, 1994
- [10] Liu, Z. and Kim, A. K., "A Review of Water mist Fire Suppression Systems – Fundamental Studies," *J. of Fire Protection Engineering*, 10 (3), 2000, pp 32-50
- [11] Mawhinney, J. R. and Richardson, J. K., "A Review of Water mist Fire Suppression Research and Development," *Fire Technology*, Vol. 33, No. 1, 1997, pp. 54-90 .

- [12] Liu, Z.; Kim, A.K.; Carpenter, D.; Kanabus-Kaminska, J.M.; Yen, P-L. "Extinguishment of cooking oil fires by water mist fire suppression systems". *Fire Technology*, v. 40, no. 4, October 2004
- [13] Bekdemir, Cemil, "Numerical Modeling of Diesel Spray Formation and Combustion", Master thesis. 2008
- [14] Spraying system, "Engineer's guide to spray technology handbook", 2008.
- [15] G. Grant, J. Brentonb, D. Drysdalec, "Fire suppression by water sprays", *Progress in Energy and Combustion Science* 26 (2000) 79–130.
- [16] San-Ping Ho, "Water Spray Suppression and Intensification of High Flash Point Hydrocarbon *Pool fires*", A Dissertation. 2003.
- [17] Albovik, "Handbook image processing & video Processing", 1999
- [18] H. Vahedi Tafreshi, B. Pourdeyhimi, "The effects of nosel geometry on waterjet breakup at high Reynolds numbers". *Experiments in Fluids* 35 (2003) 364–371.
- [19] McGrattan, K., et al., *Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide*, National Institute of Standards and Technology, USA, 2007.
- [20] Xiao X.K., CONG B.H., WANG X.S., KUANG K.Q., Richard YUEN K. K. , LIAO G.X., On the Behavior of Flame Expansion in *Pool fire* Extinguishment with Steam Jet, *Journal of fire Sciences*, online first. (DOI: 10.1177/0734904110397812).
- [21] Bannister, W. W.; Chen, C. C.; Euaphantasate, N., Anomalous effects of water in firefighting: increased fire intensities by azeotropic distillation effects [C], *Halon Options Technical Working Conference, Proceedings*. Albuquerque, NM, 24th -26th April 2001, pp. 425-432.
- [22] Dong Z.Y., *Mechanics of Jet*(in Chinese) [M], Science Press of China, 2005, Beijing, 41-44.
- [23] Liu Z G, Andrew K, Don C, et al. Extinguishment of cooking oil fires by water mist fire suppression systems. *Fire Tech*, 2004, 40: 309—333.
- [24] Richard J.D Tilley. *An Exploration of the Relationship Between Light, the Optical Properties of Materials and Colour. Colour and the Optical Properties of Materials*, 2011.

[25] Cheile, Hasien. Introduction to colour imaging science. 2005, cambridge Univeersity.

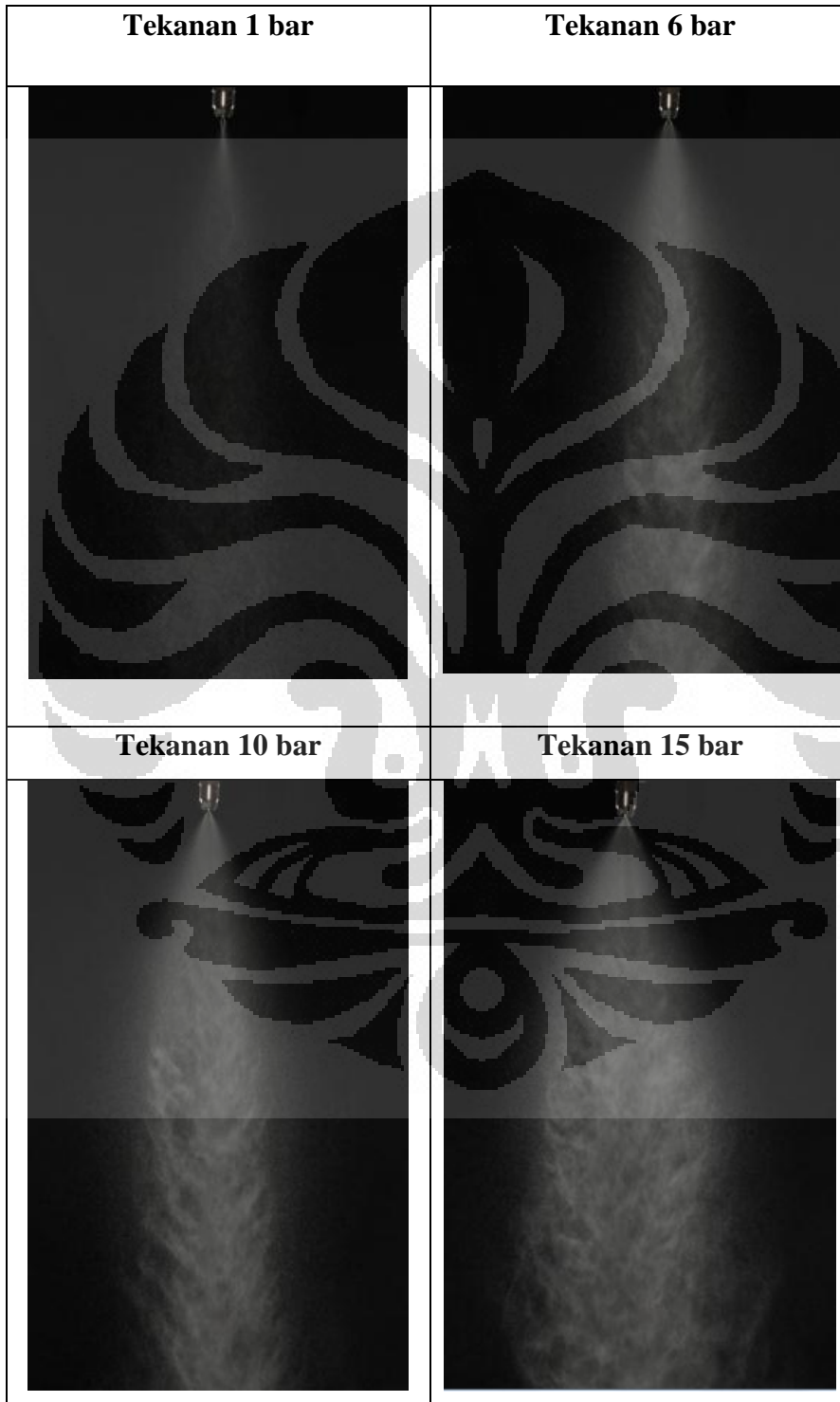
[26] Scott A. Shearer, Jeremy R. Hudson, Stokes' Law and Viscosity, Fluid Mechanics.2008.



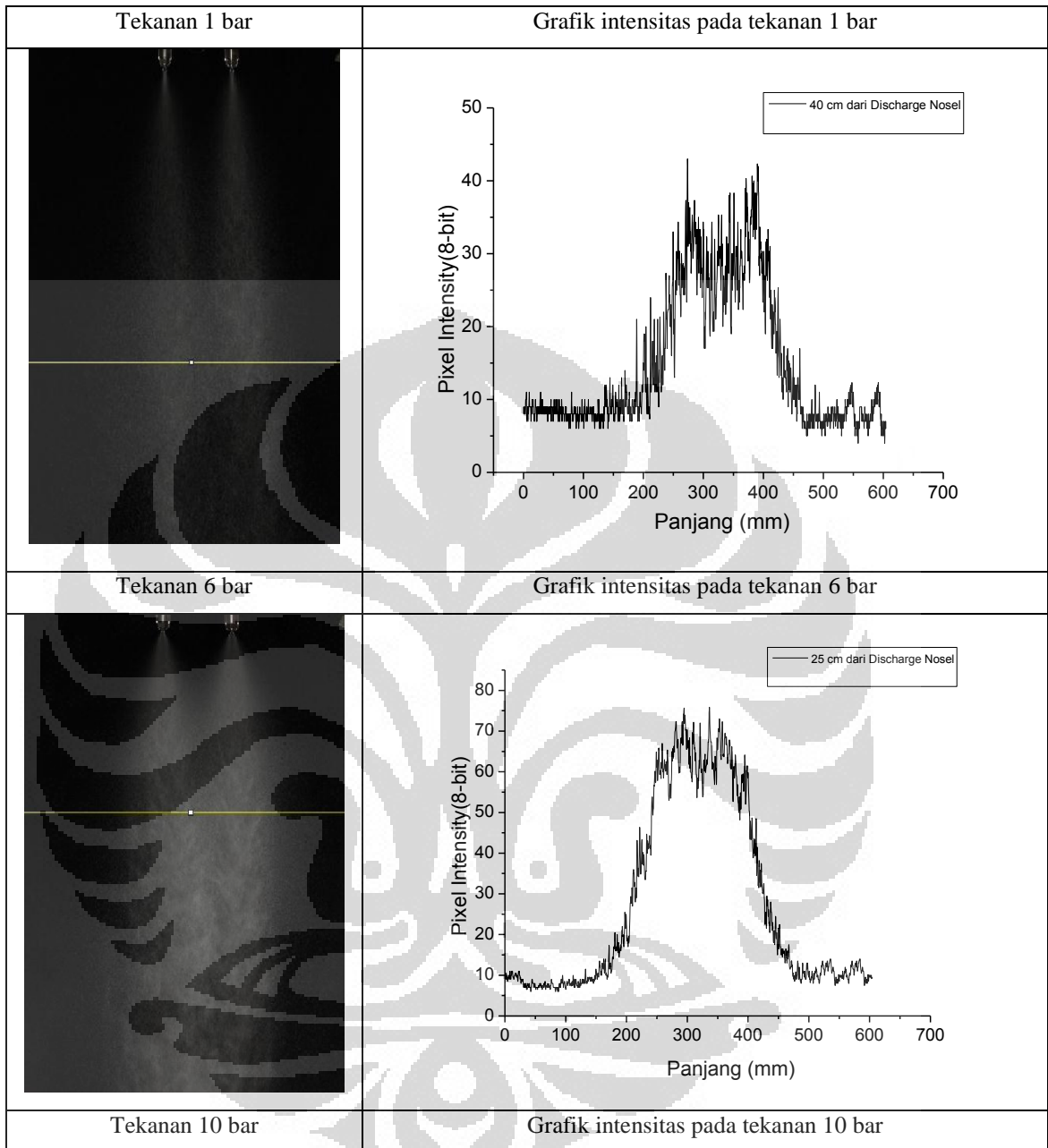


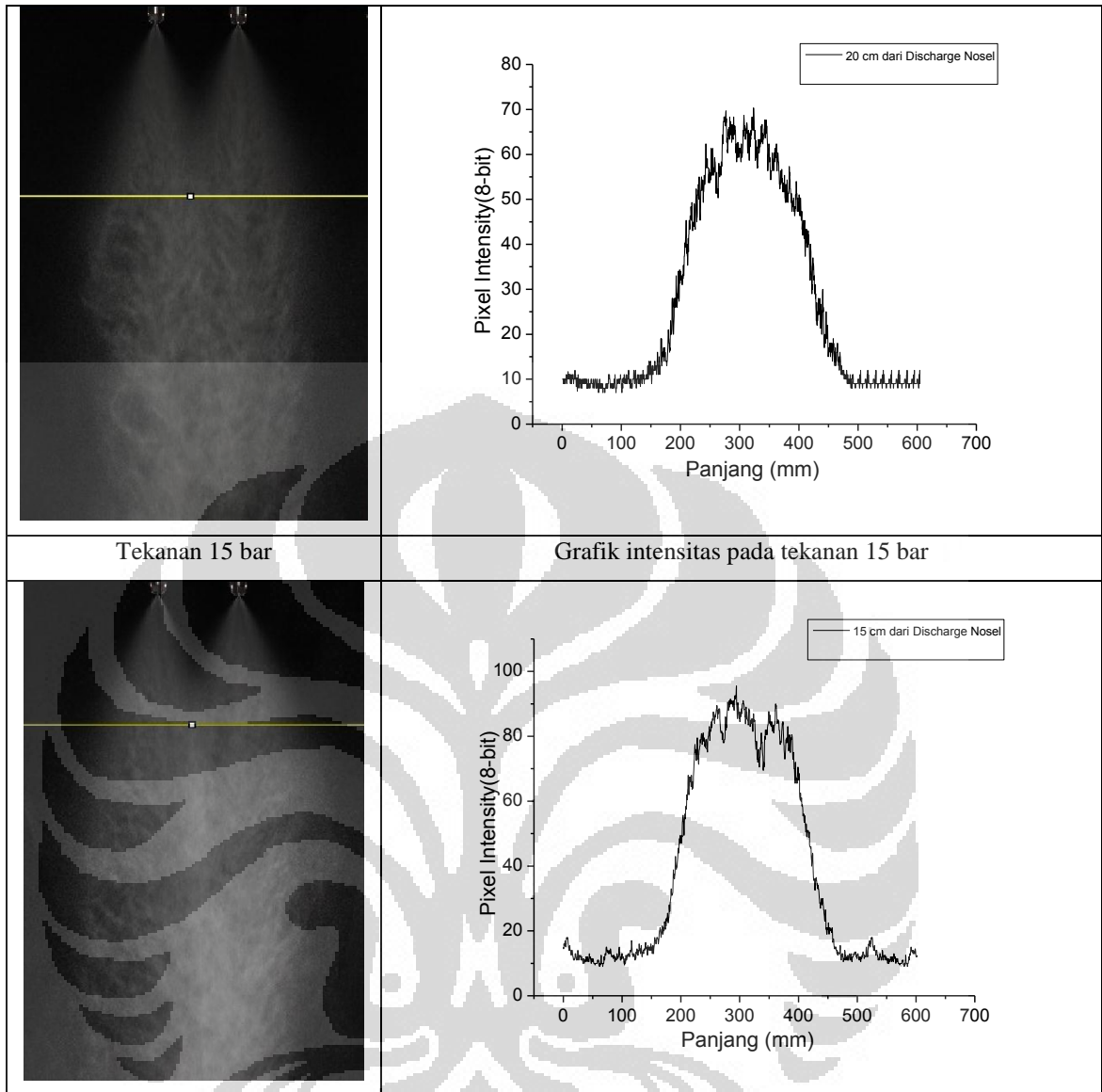
## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Distribusi untuk 1 nosel pada tekanan untuk pengambilan gambar kamera ketinggian 5cm dari discharge nosel.



**Lampiran 2.** Interaksi dari 2 *nozzle*, jarak masing-masing *nozzle* 100 mm





Tekanan 15 bar

Grafik intensitas pada tekanan 15 bar

**Lampiran 3.**

1. kapasitas massa berdasarkan jumlah nosel dan tekanan menggunakan botol 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

2. Kapasitas massa berdasarkan jumlah nosel dan tekanan dari data *supplier* nosel

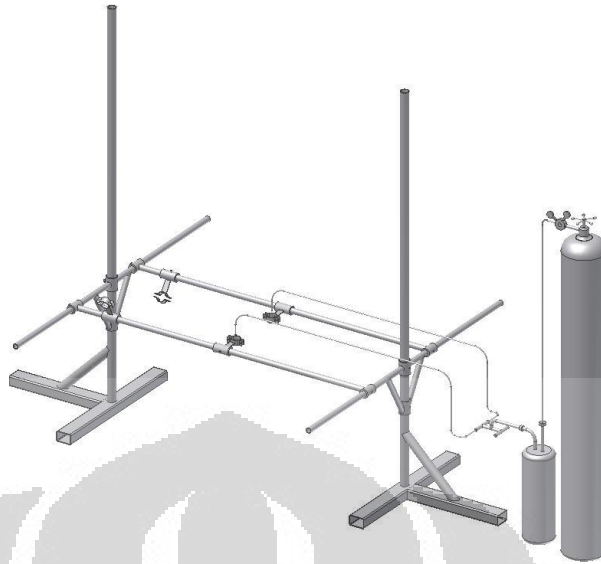
Jumlah nosel	Tekanan (bar)	Kapasitas (gr/s)
1	6	2.4
1	10	3
1	15	3.7
2	6	4.8
2	10	6
2	15	7.3

#### Lampiran 4 Mnufaktor desain rangka water mist

1. Rancangan Rangka Dudukan Nosel Kabut air



2. Assembly rangka system kabut air



### Lampiran 5: Input Data Simulasi FDS

1. Pemadaman api dengan tekanan 6 bar

tekanan 6 bar.fds

Generated by PyroSim - Version 2010.2.1407

Dec 28, 2011 10:50:08 AM

&HEAD CHID='tekanan\_6\_bar', TITLE='Simulasi Hendar'/

&TIME T\_END=100.00/

&DUMP RENDER\_FILE='tekanan\_6\_bar.ge1', DT\_RESTART=300.00/

&MISC HUMIDITY=60.00, TMPA=33.00/

&MESH ID='MESH', IJK=70,70,77, XB=0.00,1.00,0.00,1.00,0.00,1.10/

&PART ID='Water02',

WATER=.TRUE.,

AGE=100.00,

DIAMETER=110.00,

SPECIFIC\_HEAT=4.18,

MELTING\_TEMPERATURE=0.00,

VAPORIZATION\_TEMPERATURE=100.00,

HEAT\_OF\_VAPORIZATION=2.2590000E003/  
&REAC ID='bensin',  
C=8.00,  
H=18.00,  
O=0.00,  
N=0.00,  
HEAT\_OF\_COMBUSTION=2.6700000E004,  
SOOT\_YIELD=0.0270,  
MAXIMUM\_VISIBILITY=1.06/  
&PROP ID='Water Spray02',  
PART\_ID='Water02',  
K\_FACTOR=0.4000,  
OPERATING\_PRESSURE=6.00,  
FLOW\_TAU=1.00,  
DROPLET\_VELOCITY=10.00/  
&DEVC ID='NOZZLE', PROP\_ID='Water Spray02', XYZ=0.50,0.50,1.00,  
QUANTITY='TIME', SETPOINT=15.00/  
&DEVC ID='termokopel 1', QUANTITY='THERMOCOUPLE',  
XYZ=0.50,0.50,0.0520/  
&DEVC ID='Termokopel 2', QUANTITY='THERMOCOUPLE',  
XYZ=0.50,0.50,0.1700/  
&DEVC ID='Termokopel 3', QUANTITY='THERMOCOUPLE',  
XYZ=0.50,0.50,0.3000/  
&DEVC ID='Termokopel 4', QUANTITY='THERMOCOUPLE',  
XYZ=0.50,0.50,0.4400/  
&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=0.00,0.00,0.00,  
SETPOINT=15.00/

```

&MATL ID='bahan bakar',
    SPECIFIC_HEAT=2.22,
    CONDUCTIVITY=0.1500,
    DENSITY=680.30,
    HEAT_OF_COMBUSTION=4.3700000E004,
    HEAT_OF_REACTION=-338.00,
    NU_FUEL=1.00,
    BOILING_TEMPERATURE=155.00/

&SURF ID='SURF',
    COLOR='RED',
    HRRPUA=308.00,
    E_COEFFICIENT=90.00,
    HEAT_OF_VAPORIZATION=338.00,
    BURN_AWAY=.TRUE.,
    MATL_ID(1,1)='bahan bakar',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=3.0000000E-003/

&OBST XB=0.4571,0.54,0.4714,0.53,0.0143,0.0143, SURF_ID='SURF'/ ascii
&OBST XB=0.4714,0.53,0.4571,0.4714,0.0143,0.0143, SURF_ID='SURF'/ ascii
&OBST XB=0.4714,0.53,0.53,0.54,0.0143,0.0143, SURF_ID='SURF'/ ascii

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,0.00,0.00,1.00,0.00,2.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min X for MESH

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.00,1.00,0.00,1.00,0.00,2.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max X for MESH

```

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,1.00,0.00,0.00,0.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min Y for MESH

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,1.00,1.00,1.00,0.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Y for MESH

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,1.00,0.00,1.00,2.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Z for MESH

&SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBX=0.50/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.50/

&SLCF QUANTITY='U-VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=0.50/

&DEVC ID='Heat Flux\_MEAN', QUANTITY='NET HEAT FLUX',  
STATISTICS='MEAN', XB=0.2500,0.2700,0.2500,0.2700,0.2000,0.2200/

&DEVC ID='Radiative Heat Flux\_MEAN', QUANTITY='RADIATIVE HEAT  
FLUX', STATISTICS='MEAN',  
XB=0.2800,0.3000,0.2800,0.3000,0.2090,0.2290/

&TAIL /

## 2. Pemadaman api dengan tekanan 10 bar

tekanan 10 bar.fds

Generated by PyroSim - Version 2010.2.1407

Dec 28, 2011 10:53:52 AM

&HEAD CHID='tekanan\_10\_bar', TITLE='Simulasi Hendar'/

&TIME T\_END=100.00/

&DUMP RENDER\_FILE='tekanan\_10\_bar.ge1', DT\_RESTART=300.00/

&MISC HUMIDITY=60.00, TMPA=33.00/

&MESH ID='MESH', IJK=70,70,77, XB=0.00,1.00,0.00,1.00,0.00,1.10/

&PART ID='Water02',

WATER=.TRUE.,

AGE=100.00,

DIAMETER=110.00,

SPECIFIC\_HEAT=4.18,



MELTING\_TEMPERATURE=0.00,  
VAPORIZATION\_TEMPERATURE=100.00,  
HEAT\_OF\_VAPORIZATION=2.2590000E003/

&REAC ID='bensin',  
C=8.00,  
H=18.00,  
O=0.00,  
N=0.00,  
HEAT\_OF\_COMBUSTION=2.6700000E004,  
SOOT\_YIELD=0.0270,  
MAXIMUM\_VISIBILITY=1.06/

&PROP ID='Water Spray02',  
PART\_ID='Water02',  
K\_FACTOR=0.4000,  
OPERATING\_PRESSURE=10.00,  
FLOW\_TAU=1.00,  
DROPLET\_VELOCITY=14.60/

&DEVC ID='NOZZLE', PROP\_ID='Water Spray02', XYZ=0.50,0.50,1.00,  
QUANTITY='TIME', SETPOINT=15.00/

&DEVC ID='termokopel 1', QUANTITY='THERMOCOUPLE',  
XYZ=0.50,0.50,0.0520/

&DEVC ID='Termokopel 2', QUANTITY='THERMOCOUPLE',  
XYZ=0.50,0.50,0.1700/

&DEVC ID='Termokopel 3', QUANTITY='THERMOCOUPLE',  
XYZ=0.50,0.50,0.3000/

&DEVC ID='Termokopel 4', QUANTITY='THERMOCOUPLE',  
XYZ=0.50,0.50,0.4400/

&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=0.00,0.00,0.00,  
SETPOINT=15.00/

&MATL ID='bahan bakar',  
SPECIFIC\_HEAT=2.22,  
CONDUCTIVITY=0.1500,  
DENSITY=680.30,  
HEAT\_OF\_COMBUSTION=4.3700000E004,  
HEAT\_OF\_REACTION=-338.00,  
NU\_FUEL=1.00,  
BOILING\_TEMPERATURE=155.00/

&SURF ID='SURF',  
COLOR='RED',

HRRPUA=308.00,  
E\_COEFFICIENT=90.00,  
HEAT\_OF\_VAPORIZATION=338.00,  
BURN\_AWAY=.TRUE.,  
MATL\_ID(1,1)='bahan bakar',  
MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.00,  
THICKNESS(1)=3.0000000E-003/

&OBST XB=0.4571,0.54,0.4714,0.53,0.0143,0.0143, SURF\_ID='SURF'/  
ascii  
&OBST XB=0.4714,0.53,0.4571,0.4714,0.0143,0.0143, SURF\_ID='SURF'/  
ascii  
&OBST XB=0.4714,0.53,0.53,0.54,0.0143,0.0143, SURF\_ID='SURF'/ ascii

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,0.00,0.00,1.00,0.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min X for MESH  
&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=1.00,1.00,0.00,1.00,0.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max X for MESH  
&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,1.00,0.00,0.00,0.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min Y for MESH  
&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,1.00,1.00,1.00,0.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Y for MESH  
&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,1.00,0.00,1.00,2.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Z for MESH

&SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBX=0.50/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.50/  
&SLCF QUANTITY='U-VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=0.50/

&DEVC ID='Heat Flux\_MEAN', QUANTITY='NET HEAT FLUX',  
STATISTICS='MEAN', XB=0.2500,0.2700,0.2500,0.2700,0.2000,0.2200/  
&DEVC ID='Radiative Heat Flux\_MEAN', QUANTITY='RADIATIVE  
HEAT FLUX', STATISTICS='MEAN',  
XB=0.2800,0.3000,0.2800,0.3000,0.2090,0.2290/

&TAIL /

### 3. Pemadaman api dengan tekanan 15bar

tekanan 15 bar.fds  
Generated by PyroSim - Version 2010.2.1407  
Dec 28, 2011 10:51:36 AM

```

&HEAD CHID='tekanan_15_bar', TITLE='Simulasi Hendar'/
&TIME T_END=100.00/
&DUMP RENDER_FILE='tekanan_15_bar.ge1', DT_RESTART=300.00/
&MISC HUMIDITY=60.00, TMPA=33.00/

&MESH ID='MESH', IJK=70,70,77, XB=0.00,1.00,0.00,1.00,0.00,1.10/

&PART ID='Water02',
  WATER=.TRUE.,
  AGE=100.00,
  DIAMETER=110.00,
  SPECIFIC_HEAT=4.18,
  MELTING_TEMPERATURE=0.00,
  VAPORIZATION_TEMPERATURE=100.00,
  HEAT_OF_VAPORIZATION=2.2590000E003/

&REAC ID='bensin',
  C=8.00,
  H=18.00,
  O=0.00,
  N=0.00,
  HEAT_OF_COMBUSTION=2.6700000E004,
  SOOT_YIELD=0.0270,
  MAXIMUM_VISIBILITY=1.06/

&PROP ID='Water Spray02',
  PART_ID='Water02',
  K_FACTOR=0.4000,
  OPERATING_PRESSURE=15.00,
  FLOW_TAU=1.00,
  DROPLET_VELOCITY=18.20/

&DEVC ID='NOZZLE', PROP_ID='Water Spray02', XYZ=0.50,0.50,1.00,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=15.00/
&DEVC ID='termokopel 1', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.50,0.50,0.0520/
&DEVC ID='Termokopel 2', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.50,0.50,0.1700/
&DEVC ID='Termokopel 3', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.50,0.50,0.3000/
&DEVC ID='Termokopel 4', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.50,0.50,0.4400/

```

&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=0.00,0.00,0.00,  
SETPOINT=15.00/

&MATL ID='bahan bakar',  
SPECIFIC\_HEAT=2.22,  
CONDUCTIVITY=0.1500,  
DENSITY=680.30,  
HEAT\_OF\_COMBUSTION=4.3700000E004,  
HEAT\_OF\_REACTION=-338.00,  
NU\_FUEL=1.00,  
BOILING\_TEMPERATURE=155.00/

&SURF ID='SURF',  
COLOR='RED',  
HRRPUA=308.00,  
E\_COEFFICIENT=90.00,  
HEAT\_OF\_VAPORIZATION=338.00,  
BURN\_AWAY=.TRUE.,  
MATL\_ID(1,1)='bahan bakar',  
MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.00,  
THICKNESS(1)=3.0000000E-003/

&OBST XB=0.4571,0.54,0.4714,0.53,0.0143,0.0143, SURF\_ID='SURF'/  
ascii

&OBST XB=0.4714,0.53,0.4571,0.4714,0.0143,0.0143, SURF\_ID='SURF'/  
ascii

&OBST XB=0.4714,0.53,0.53,0.54,0.0143,0.0143, SURF\_ID='SURF'/ ascii

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,0.00,0.00,1.00,0.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min X for MESH

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=1.00,1.00,0.00,1.00,0.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max X for MESH

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,1.00,0.00,0.00,0.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min Y for MESH

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,1.00,1.00,1.00,0.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Y for MESH

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.00,1.00,0.00,1.00,2.00,2.00,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Z for MESH

&SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBX=0.50/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.50/

&SLCF QUANTITY='U-VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=0.50/

```
&DEVC ID='Heat Flux_MEAN', QUANTITY='NET HEAT FLUX',  
STATISTICS='MEAN', XB=0.2500,0.2700,0.2500,0.2700,0.2000,0.2200/  
&DEVC ID='Radiative Heat Flux_MEAN', QUANTITY='RADIATIVE  
HEAT FLUX', STATISTICS='MEAN',  
XB=0.2800,0.3000,0.2800,0.3000,0.2090,0.2290/
```

```
&TAIL /
```

