



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH SUDUT DAN KETINGGIAN TERHADAP  
WAKTU PEMADAMAN SISTEM KABUT AIR DENGAN  
ARAH *CO-FLOW* UNTUK *POOL FIRE* BERBAHAN BAKAR  
BENSIN (PREMIUM)**

**SKRIPSI**

**DONNY TIGOR HAMONANGAN  
04 04 02 0231**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI  
DEPOK  
DESEMBER 2008**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH SUDUT DAN KETINGGIAN TERHADAP  
WAKTU PEMADAMAN SISTEM KABUT AIR DENGAN  
ARAH *CO-FLOW* UNTUK *POOL FIRE* BERBAHAN BAKAR  
BENSIN (PREMIUM)**

**SKRIPSI**

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

**DONNY TIGOR HAMONANGAN  
04 04 02 0231**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI  
DEPOK  
DESEMBER 2008**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

**Nama : DONNY TIGOR HAMONANGAN**

**NPM : 04 04 02 0231**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 24 Desember 2008**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : DONNY TIGOR HAMONANGAN  
NPM : 0404020231  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : PENGARUH SUDUT DAN KETINGGIAN TERHADAP  
WAKTU PEMADAMAN SISTEM KABUT AIR  
DENGAN ARAH *CO-FLOW* UNTUK *POOL FIRE*  
BERBAHAN BAKAR BENSIN (PREMIUM)

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Yulianto S. Nugroho MSc. Ph.d ( )  
Penguji : Dr. Ir. R. Danardono A.S ( )  
Penguji : Ir. Rusdy Malin, MME ( )  
Penguji : Dr. Ir. Adi Suryo Satyo, MEng ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Desember 2008

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Yulianto S.N., MSc., PhD. sebagai dosen pembimbing atas kontribusinya dalam memberikan judul, bimbingan, saran dan diskusi.
2. Dr. Ir. Harinaldi, MEng selaku ketua Departemen Teknik Mesin FTUI.
3. Yesus Kristus di dalam dia yang memberikan kekuatan kepadaku
4. Papi, Mami, Kak Verna dan Kak Fanny yang senantiasa memberikan dukungan
5. Ivan Santoso selaku rekan kerja skripsi yang terus bersama-sama mengerjakan alat ini.
6. Mas Syarief, Mas Yasin dan seluruh staf DTM-FTUI.
7. Aulia D.W yang telah membantu dalam proses skripsi ini
8. Seluruh teman-teman Mesin khususnya Angkatan 2004 dan seluruh rekan kerja di lantai 1 Departemen Teknik Mesin FTUI
9. Seluruh pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung

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

Depok, 9 Desember 2008

Penulis

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

---

---

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

Nama : DONNY TIGOR HAMONANGAN  
NPM : 04 04 02 0231  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**PENGARUH SUDUT DAN KETINGGIAN TERHADAP WAKTU  
PEMADAMAN SISTEM KABUT AIR DENGAN ARAH *CO-FLOW*  
UNTUK *POOL FIRE* BERBAHAN BAKAR BENSIN (PREMIUM)**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 24 Desember 2008

Yang menyatakan

(DONNY TIGOR HAMONANGAN)

## DAFTAR ISI

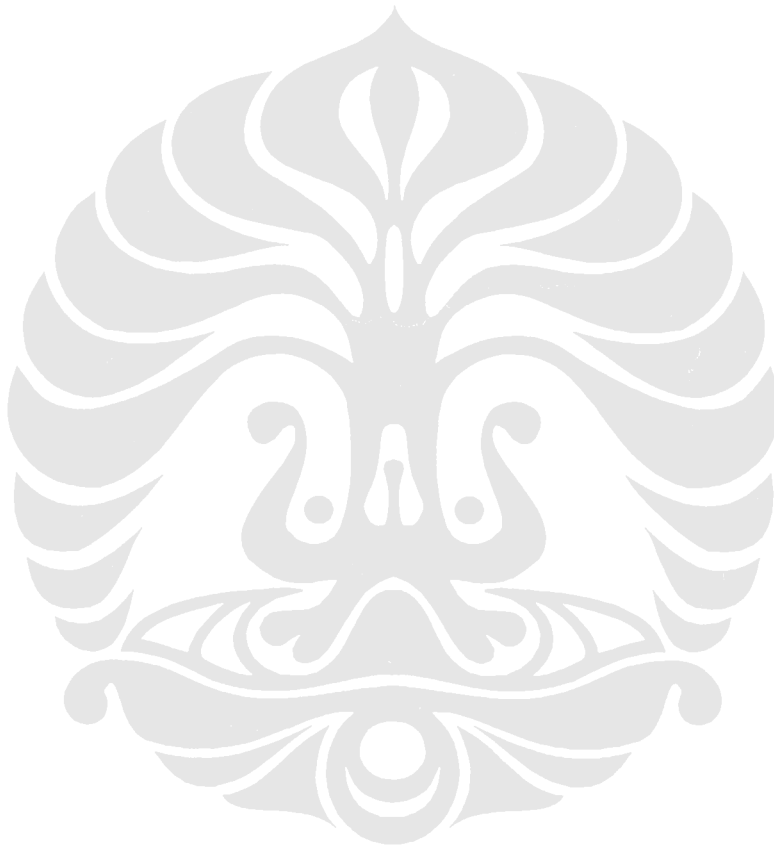
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 PEMBATASAN MASALAH.....	4
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	6
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>8</b>
2.1 API DAN REAKSI PEMBAKARAN.....	8
2.2 POOL FIRE.....	12
2.2.1 Laju Pembakaran dan Laju Produksi Kalor (HRR) Pool Fire.....	13
2.2.2 Tinggi Nyala Api ( <i>Flame Height</i> ).....	15
2.3 KABUT AIR.....	16
2.3.1 Definisi Pemadam Kebakaran Sistem Kabut Air.....	16
2.3.2 Dasar Penggunaan Sistem Kabut Air.....	17
2.3.3 Jenis-Jenis Pemadam kebakaran Sistem Kabut Air.....	18
2.3.4 Pembentukan Droplet dari Berbagai Jenis Nozzel.....	19
2.3.5 Distribusi Ukuran Droplet.....	21
2.3.6 Perlambatan Droplet – Sifat Aerodinamik dari Spray.....	22
2.3.6.1 <i>Gaya Pada Droplet Tunggal</i> .....	22
2.3.6.2 <i>Perlambatan Droplet Tunggal Dengan Kecepatan Awal Yang Tinggi</i> .....	22
2.3.6.3 <i>Perlambatan Droplet Dalam Spray</i> .....	23
2.3.7 Evaporasi Droplet Air.....	25
2.3.8 Performa Pemadaman Dengan Air.....	26
2.3.8.1 <i>Pemadaman Flame (Nyala Api)</i> .....	26
2.3.8.2 <i>Pendinginan Permukaan</i> .....	30
2.3.9 Parameter Kabut Air Untuk Pemadaman.....	31
<b>BAB 3 METODOLOGI PENGUJIAN.....</b>	<b>35</b>
3.1 TAHAP PERSIAPAN.....	35
3.1.1 Peralatan Keamanan.....	35

3.1.2	Persiapan dan Spesifikasi Alat Uji.....	37
3.1.2.1	Wadah Bahan Bakar (Pool Fire).....	37
3.1.2.2	Tabung Nitrogen dan Regulator.....	37
3.1.2.3	Pressure Vessel.....	38
3.1.2.4	Nosel.....	39
3.1.2.5	Dudukan Nosel.....	40
3.1.2.6	Pipa/Saluran Air.....	40
3.1.2.7	Stop Valve.....	40
3.1.2.8	Check Valve.....	41
3.1.2.9	Pressure Gauge.....	41
3.1.2.10	Termokopel & Program VisiDAQ.....	41
3.1.2.11	Ignitor.....	41
3.1.2.12	Video Kamera.....	42
3.1.2.13	Stop Watch.....	42
3.1.2.14	Busa & Tempat Busa.....	42
3.1.2.15	Timbangan.....	42
3.2	TAHAP PERCOBAAN DAN PENGAMBILAN DATA.....	43
3.2.1	Prosedur Pengambilan Data Flux Density.....	45
3.2.2	Prosedur Pengambilan Data Tinggi Api dan Temperatur Pool Fire.....	45
3.2.3	Prosedur Pengambilan Data Waktu Pemadaman Pool Fire....	46
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISIS.....</b>		<b>48</b>
4.1	KARAKTERISTIK POOL FIRE.....	48
4.1.1	Laju Pembakaran Bahan Bakar dan Laju Produksi kalor Bensin.....	47
4.1.2	Tinggi Nyala Api & Bentuk Api Pool Fire.....	49
4.1.3	Temperatur Nyala Bensin.....	50
4.2	PENGUJIAN KARAKTERISTIK WATER MIST UNTUK PEMADAMAN DARI SISI SAMPING BAWAH (CO-AXIAL)...	52
4.2.1	Pengaruh Kemiringan Sudut Nosel Terhadap Fluks Massa Kabut Air.....	53
4.2.2	Pengaruh Ketinggian Penyemprotan Terhadap Flux Massa....	56
4.2.3	Perbandingan Keseluruhan Kemiringan Sudut Serta Ketinggian Terhadap Flux Massa.....	58
4.2.4	Perbandingan Penyemprotan Dari Sisi Samping Bawah Dengan Sisi Atas Terhadap Flux Density.....	59
4.2.5	Perbandingan Penyemprotan Turbulensi Terhadap Flux Density.....	61
4.3	PEMADAMAN BAHAN BAKAR LIQUID (POOL FIRE).....	64
4.3.1	Analisa Visual Nyala Api Pemadaman Bahan Bakar Bensin	65
4.3.2	Analisa Penurunan Temperatur Terhadap Waktu.....	68
4.3.3	Analisa Waktu Padam Pada Bahan Bakar Bensin.....	71
4.3.4	Analisa Penurunan Temperatur Terhadap Ketinggian.....	72
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b>		<b>74</b>
DAFTAR ACUAN		72



## DAFTAR TABEL

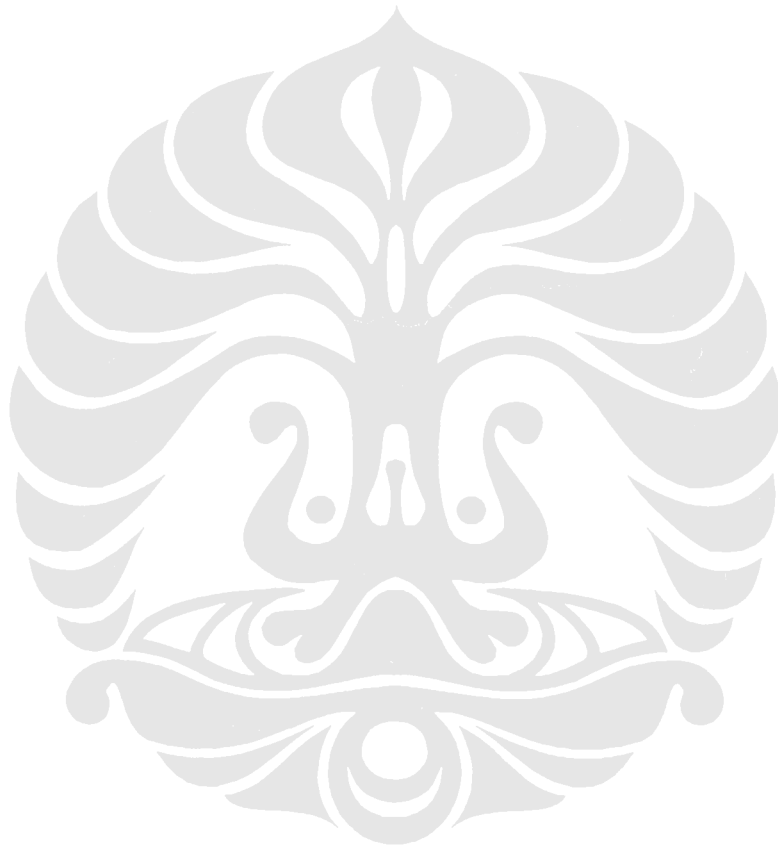
<b>Tabel 1.1</b> Frekuensi Kebakaran Berdasarkan Objek Kebakaran.....	2
<b>Tabel 1.2</b> Kerugian Akibat Kebakaran.....	2
<b>Tabel 2.1</b> Perbandingan ukuran diameter droplet dengan bentuknya.....	17
<b>Tabel 4.1</b> Laju Pembakaran Bahan Bakar.....	63
<b>Tabel 4.2</b> Waktu Pemadaman Alkohol Pada Variasi Ketinggian.....	74



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Perubahan fase zat dari padat ke gas untuk reaksi pembakaran..	12
<b>Gambar 2.2</b>	Grafik <i>regression rate and flame height</i> untuk <i>pool fire</i> .....	13
<b>Gambar 2.3</b>	Empat cara pembentukan droplet.....	20
<b>Gambar 2.4</b>	Tabel grafik Reynolds vs Ohnesorge.....	21
<b>Gambar 2.5</b>	Hollow cone, 80 bar, diameter nosel = 0,8 mm.....	24
<b>Gambar 2.6</b>	Skematik full cone spray.....	24
<b>Gambar 2.7</b>	Interaksi antara api dengan kabut air.....	27
<b>Gambar 3.1</b>	Wadah bahan bakar d = 5 & 8 cm.....	39
<b>Gambar 3.2</b>	Tabung nitrogen dan pressure regulator.....	40
<b>Gambar 3.3</b>	Pressure Vessel.....	40
<b>Gambar 3.4</b>	Nosel Greenhouse.....	41
<b>Gambar 3.5</b>	Susunan konfigurasi nosel.....	42
<b>Gambar 3.6</b>	Pressure Gauge.....	43
<b>Gambar 3.7</b>	Timbangan dan Busa.....	44
<b>Gambar 3.8</b>	Prosedur Pengambilan Data Flux Density.....	47
<b>Gambar 3.9</b>	Pengambilan Data Ketinggian Alkohol.....	48
<b>Gambar 3.10</b>	Skematik Pengambilan Data.....	49
<b>Gambar 4.1</b>	Perbedaan Penyemprotan Dari Atas Dan Dari Sisi Samping Bawah.....	50
<b>Gambar 4.2</b>	Fluks Massa Dengan Berbagai Kemiringan Sudut.....	52
<b>Gambar 4.3</b>	Pengaruh Ketinggian Terhadap Fluks Density.....	54
<b>Gambar 4.4</b>	Tampilan 3 Dimensi Ketinggian Terhadap Fluks Massa.....	55
<b>Gambar 4.5</b>	Perbandingan Kemiringan Sudut, Ketinggian Terhadap Rata-rata <i>Fluks Density</i> .....	56
<b>Gambar 4.6</b>	Perbedaan Persebaran Fluks Density Dari Atas Dengan Sisi Bawah.....	58
<b>Gambar 4.7</b>	Perbandingan Penyemprotan Sudut 30 <sup>o</sup> Dengan Fenomena Turbulensi.....	60
<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan Sudut 30 <sup>o</sup> & Sudut 30 <sup>o</sup> (Turbulen) Terhadap Rata-rata Fluks Density.....	61
<b>Gambar 4.9</b>	Visual Nyala Api <i>Pool Fire</i> Alkohol Dengan Diameter Berbeda.....	65
<b>Gambar 4.10</b>	Temperatur Nyala <i>Pool fire</i> Pada Ketinggian Berbeda.....	65
<b>Gambar 4.11</b>	Perbandingan Temperatur Nyala Berbagai Diameter.....	66
<b>Gambar 4.12</b>	Tahapan pemadaman dengan kabut air bahan bakar alkohol diameter 5 cm.....	69
<b>Gambar 4.13</b>	Tahapan pemadaman dengan kabut air bahan bakar alkohol diameter 8 cm.....	71
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik validasi waktu dan suhu saat pemadaman.....	71
<b>Gambar 4.15</b>	Pola Temperatur Pemadaman <i>Pool Fire</i> (P=7bar; d=5cm, h=0cm).....	72
<b>Gambar 4.16</b>	Pola Temperatur Pemadaman <i>Pool Fire</i> (P=7bar; d=8cm, h=0cm).....	73
<b>Gambar 4.17</b>	Waktu Pemadaman Dengan Variasi Ketinggian Pemadaman...	74

<b>Gambar 4.18</b> Pola Temperatur Pemadaman <i>Pool Fire</i> ( $P=7\text{bar}$ ; $d=5\text{cm}$ , $h=0,2,4\text{cm}$ ).....	75
<b>Gambar 4.19</b> Pola Temperatur Pemadaman <i>Pool Fire</i> ( $P=7\text{bar}$ ; $d=8\text{cm}$ , $h=0,2,4\text{cm}$ ).....	75



## DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
$A_w$	Luasan Kabut Air	$m^2$
$A_f$	luas permukaan bakar	$m^2$
$a_c$	koefisien cakupan spray	
$c_p$	kapasitas thermal	J/mol K
$c_{pmv}$	kapasitas termal dari uap air	J/mol K
$C_D$	koefisien Drag	
$D$	dimensi wadah	m
$D_{v0.9}$	diameter droplet dari 90% total volume yang jadi droplet kecil	$\mu m$
$d$	diameter droplet	m
$\bar{F}$	Gaya total yang mengenai droplet	N
$f_c$	Fraksi kalor pembakaran dari bahan bakar dari api ke permukaan bahan bakar	
$k\beta$	faktor radiasi	$m^{-1}$
$g$	gravitasi	$\frac{m}{s^2}$
$\Delta H_c$	entalpi pembakaran bahan bakar	kJ/mol
$H_v$	panas penguapan untuk air	
$h$	koefisien perpindahan panas konveksi	$kW/m^2 K$
$k$	koefisien perpindahan panas	$kW/m K$
$L$	jarak nosel ke permukaan bahan bakar	m
$L_V$	panas yang diperlukan untuk menghasilkan material menguap	kJ/g
$L_{vf}$	kalor laten bahan bakar yang berevaporasi	kJ/mol
$L_{vw}$	kalor laten air yang berevaporasi	kJ/mol
$l$	panjang karakteristik	m
$m_f$	laju pembakaran bahan bakar	kg/s
$m_w$	Laju pengeluaran kabut air	kg/s

$m$	massa droplet	kg
$N$	jumlah mol	
$P$	Tekanan nossel	kPa
$P$	tekanan dalam bejana	psi
$Q_f$	Laju kalor yang ditransformasikan dari api ke permukaan bahan bakar	kW
$Q_E$	laju kalor eksternal yang ditransferkan ke bahan bakar	kW
$Q_L$	laju pelepasan kalor dari bahan bakar	kW
$\dot{Q}_F''$	heat flux berasal dari api	kW/m <sup>2</sup>
$\dot{Q}_L''$	heat flux yang hilang ke permukaan bahan bakar	kW/m <sup>2</sup>
$q$	laju kalor	kW
$R$	jari-jari dalam bejana	inch
$r$	jari-jari spray	m
$S$	laju perpindahan kalor sensibel pada Permukaan area bahan bakar	
$s$	jarak dari nossel	m
$T$	Temperatur	K
$T_{wp}$	temperatur uap air	K
$\Delta T$	perbedaan temperatur antara udara dan droplet	
$t$	tebal minimum yang dibutuhkan	inch
$u_{imax}$	kecepatan maksimum pada <i>fire plume</i>	m/s
$u_w$	kecepatan droplet air	m/s
$u_{wo}$	kecepatan awal droplet	m/s
$v$	kecepatan aliran	m/s
$\bar{v}$	vektor kecepatan droplet	
$\bar{v}_l$	vektor kecepatan di sekitar udara	m/s
$X$	fraksi mol kesempurnaan pembakaran.	
$x$	fraksi kabut air yang berperan dalam pendinginan lidah api	
$\alpha$	sudut spray	
$\rho$	kerapatan fluida	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_w$	massa jenis air	kg/m <sup>3</sup>
$\phi$	rasio udara dan bahan bakar	
$\delta$	ketebalan lapisan kalor dibawah	

	permukaan bahan bakar	m
$\varepsilon$	emisifitas	
$\vartheta$	sudut cone	
$\phi$	sudut ujung spray terhadap normal	

