



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

**IVAN SANTOSO
0404020436**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**IVAN SANTOSO
0404020436**

**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 : Ivan Santoso

NPM : 0404020436

Tanda Tangan :

Tanggal : 24 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Ivan Santoso
NPM : 0404020436
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 ALKOHOL

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. Danardono AS ()
Penguji : Ir. Rusdy Malin, MME ()
Penguji : Dr. Ir. Adi Surjosatyo, 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. Nugroho., 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. Kedua orang tua dan adik penulis yang senantiasa memberikan dukungan.
4. Donny Tigor selaku rekan kerja skripsi yang terus bersama-sama mengerjakan alat ini.
5. Mas Syarief, Mas Yasin dan seluruh staf DTM-FTUI.
6. Nerissa Arviana yang selalu membantu dengan doa dan dukungannya.
7. Seluruh teman-teman Mesin khususnya Angkatan 2004 dan seluruh rekan kerja di lantai 1 Departemen Teknik Mesin FTUI
8. 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, 24 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 : Ivan Santoso
NPM : 0404020436
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 ALKOHOL**

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

(Ivan Santoso)

DAFTAR ISI

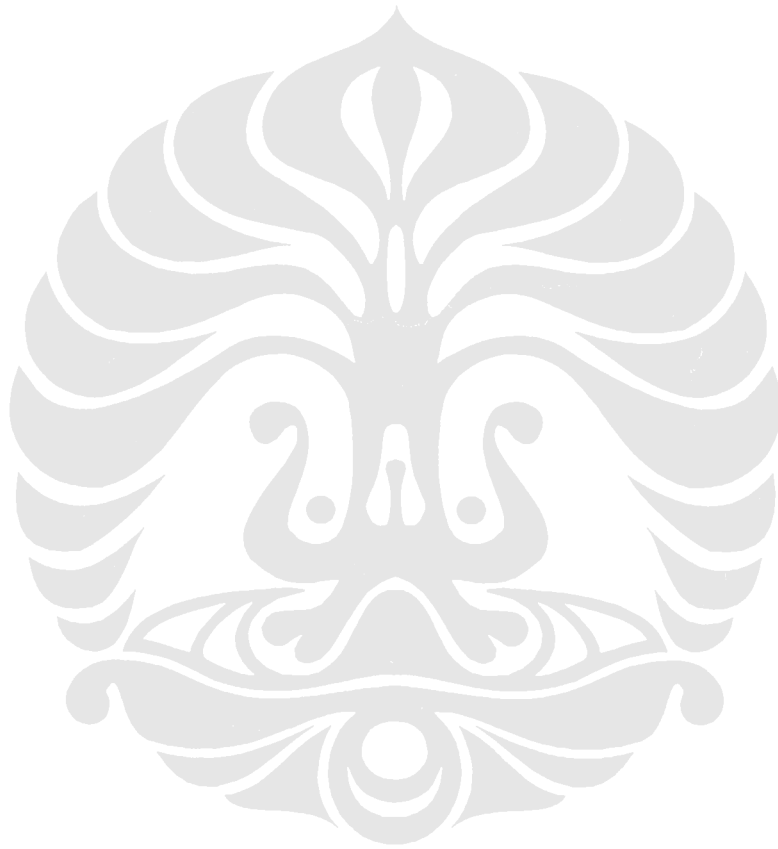
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 PEMBATASAN MASALAH.....	5
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	6
2. DASAR TEORI.....	8
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>).....	16
2.3 KABUT AIR.....	16
2.3.1 Definisi Pemadam Kebakaran Sistem Kabut Air.....	17
2.3.2 Dasar Penggunaan Sistem Kabut Air.....	18
2.3.3 Jenis-Jenis Pemadam kebakaran Sistem Kabut Air.....	19
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</i> <i>Awal Yang Tinggi</i>	23
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>	27
2.3.8.2 <i>Pendinginan Permukaan</i>	32
2.3.9 Parameter Kabut Air Untuk Pemadaman.....	33
3. METODOLOGI PENGUJIAN.....	37
3.1 TAHAP PERSIAPAN.....	37
3.1.1 Peralatan Keamanan.....	37

3.1.2	Persiapan dan Spesifikasi Alat Uji.....	39
3.1.2.1	Wadah Bahan Bakar (Pool Fire).....	39
3.1.2.2	Tabung Nitrogen dan Regulator.....	39
3.1.2.3	Pressure Vessel.....	40
3.1.2.4	Nosel.....	41
3.1.2.5	Dudukan Nosel.....	42
3.1.2.6	Pipa/Saluran Air.....	42
3.1.2.7	Stop Valve.....	42
3.1.2.8	Check Valve.....	43
3.1.2.9	Pressure Gauge.....	43
3.1.2.10	Termokopel & Program VisiDAQ.....	43
3.1.2.11	Ignitor.....	43
3.1.2.12	Video Kamera.....	44
3.1.2.13	Stop Watch.....	44
3.1.2.14	Busa & Tempat Busa.....	44
3.1.2.15	Timbangan.....	44
3.2	TAHAP PERCOBAAN DAN PENGAMBILAN DATA.....	45
3.2.1	Prosedur Pengambilan Data Flux Density.....	45
3.2.2	Prosedur Pengambilan Data Tinggi Api dan Temperatur Pool Fire.....	47
3.2.3	Prosedur Pengambilan Data Waktu Pemadaman Pool Fire....	48
4.	HASIL DAN ANALISIS.....	50
4.1	PENGUJIAN KARAKTERISTIK WATER MIST UNTUK PEMADAMAN DARI SISI SAMPING BAWAH (CO-FLOW)...	50
4.1.1	Pengaruh Kemiringan Sudut Nosel Terhadap Fluks Massa Kabut Air.....	51
4.1.2	Pengaruh Ketinggian Penyemprotan Terhadap Flux Massa....	53
4.1.3	Perbandingan Keseluruhan Kemiringan Sudut Serta Ketinggian Terhadap Flux Massa.....	56
4.1.4	Perbandingan Penyemprotan Dari Sisi Samping Bawah Dengan Sisi Atas Terhadap Flux Density.....	57
4.1.5	Perbandingan Penyemprotan Turbulensi Terhadap Flux Density.....	59
4.2	KARAKTERISTIK POOL FIRE.....	62
4.2.1	Laju Pembakaran Bahan Bakar dan Laju Produksi kalor Alkohol.....	62
4.2.2	Tinggi Nyala Api & Bentuk Api Pool Fire.....	64
4.2.3	Temperatur Nyala Alkohol.....	65
4.3	PEMADAMAN BAHAN BAKAR LIQUID (POOL FIRE).....	67
4.3.1	Analisa Visual Nyala Api Pemadaman Bahan Bakar Alkohol	67
4.3.2	Analisa Penurunan Temperatur Terhadap Waktu.....	71
4.3.3	Analisa Waktu Padam Pada Bahan Bakar Alkohol.....	74
4.3.4	Analisa Penurunan Temperatur Terhadap Ketinggian.....	75
5.	KESIMPULAN.....	77
	DAFTAR ACUAN.....	78

DAFTAR GAMBAR

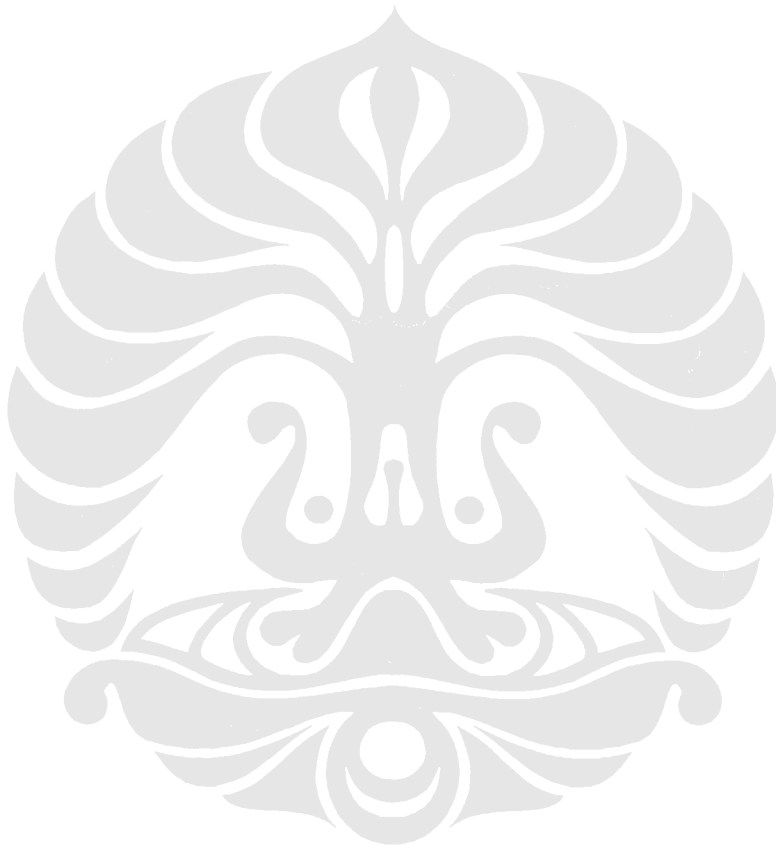
Gambar 2.1	Perubahan fase zat dari padat ke gas untuk reaksi pembakaran..	12
Gambar 2.2	Grafik <i>regression rate and flame height</i> untuk <i>pool fire</i>	13
Gambar 2.3	Empat cara pembentukkan droplet.....	20
Gambar 2.4	Tabel grafik Reynolds vs Ohnesorge.....	21
Gambar 2.5	Hollow cone, 80 bar, diameter nosel = 0,8 mm.....	24
Gambar 2.6	Skematik full cone spray.....	25
Gambar 2.7	Interaksi antara api dengan kabut air.....	27
Gambar 3.1	Wadah bahan bakar d = 5 & 8 cm.....	39
Gambar 3.2	Tabung nitrogen dan pressure regulator.....	40
Gambar 3.3	Pressure Vessel.....	40
Gambar 3.4	Nosel Greenhouse.....	41
Gambar 3.5	Susunan konfigurasi nosel.....	42
Gambar 3.6	Pressure Gauge.....	43
Gambar 3.7	Timbangan dan Busa.....	44
Gambar 3.8	Prosedur Pengambilan Data Flux Density.....	47
Gambar 3.9	Pengambilan Data Ketinggian Alkohol.....	48
Gambar 3.10	Skematik Pengambilan Data.....	49
Gambar 4.1	Perbedaan Penyemprotan Dari Atas Dan Dari Sisi Samping Bawah.....	50
Gambar 4.2	Fluks Massa Dengan Berbagai Kemiringan Sudut.....	52
Gambar 4.3	Pengaruh Ketinggian Terhadap Fluks Density.....	54
Gambar 4.4	Tampilan 3 Dimensi Ketinggian Terhadap Fluks Massa.....	55
Gambar 4.5	Perbandingan Kemiringan Sudut, Ketinggian Terhadap Rata-rata <i>Fluks Density</i>	56
Gambar 4.6	Perbedaan Persebaran Fluks Density Dari Atas Dengan Sisi Bawah.....	58
Gambar 4.7	Perbandingan Penyemprotan Sudut 30 ⁰ Dengan Fenomena Turbulensi.....	60
Gambar 4.8	Perbandingan Sudut 30 ⁰ & Sudut 30 ⁰ (Turbulen) Terhadap Rata-rata Fluks Density.....	61
Gambar 4.9	Visual Nyala Api <i>Pool Fire</i> Alkohol Dengan Diameter Berbeda.....	65
Gambar 4.10	Temperatur Nyala <i>Pool fire</i> Pada Ketinggian Berbeda.....	65
Gambar 4.11	Perbandingan Temperatur Nyala Berbagai Diameter.....	66
Gambar 4.12	Tahapan pemadaman dengan kabut air bahan bakar alkohol diameter 5 cm.....	69
Gambar 4.13	Tahapan pemadaman dengan kabut air bahan bakar alkohol diameter 8 cm.....	71
Gambar 4.14	Grafik validasi waktu dan suhu saat pemadaman.....	71
Gambar 4.15	Pola Temperatur Pemadaman <i>Pool Fire</i> (P=7bar; d=5cm, h=0cm).....	72
Gambar 4.16	Pola Temperatur Pemadaman <i>Pool Fire</i> (P=7bar; d=8cm, h=0cm).....	73
Gambar 4.17	Waktu Pemadaman Dengan Variasi Ketinggian Pemadaman...	74

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



DAFTAR TABEL

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



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_{pnv}	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	μm
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	
ΔH_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 nosel	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^2
\dot{Q}_L''	heat flux yang hilang ke permukaan bahan bakar	kW/m^2

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
ΔT	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
\vec{v}	vektor kecepatan droplet	
\vec{v}_l	vektor kecepatan di sekitar udara	m/s
X	fraksi mol kesempurnaan pembakaran.	
x	fraksi kabut air yang berperan dalam pendinginan lidah api	
α	sudut spray	
ρ	kerapatan fluida	kg/m ³
ρ_w	massa jenis air	
ϕ	rasio udara dan bahan bakar	
δ	ketebalan lapisan kalor dibawah permukaan bahan bakar	m
ε	emisifitas	
σ	Konstanta Stefan-Boltmann	(5.67x 10 ⁸ W/m ² K ⁴)
ϑ	sudut cone	
ϕ	sudut ujung spray terhadap normal	

DAFTAR LAMPIRAN

1. Flux Density untuk sudut 30° , $h = 0$ cm
2. Flux Density untuk sudut 30° , $h = 2$ cm
3. Flux Density untuk sudut 30° , $h = 4$ cm
4. Flux Density untuk sudut 45° , $h = 0$ cm
5. Flux Density untuk sudut 45° , $h = 2$ cm
6. Flux Density untuk sudut 45° , $h = 4$ cm
7. Flux Density untuk sudut 60° , $h = 0$ cm
8. Flux Density untuk sudut 60° , $h = 2$ cm
9. Flux Density untuk sudut 60° , $h = 4$ cm
10. Flux Density untuk sudut 30° turbulensi $h = 0$ cm
11. Flux Density untuk sudut 30° turbulensi $h = 2$ cm
12. Flux Density untuk sudut 30° turbulensi $h = 4$ cm
13. Data temperatur pool fire alkohol untuk diameter $d = 5$ cm
14. Data temperatur pool fire alkohol dengan diameter $d = 8$ cm
15. Data temperatur pemadaman api alkohol $d = 5$ cm, ketinggian nosel 0 cm
16. Data temperatur pemadaman api alkohol $d = 5$ cm, ketinggian nosel 2 cm
17. Data temperatur pemadaman api alkohol $d = 5$ cm, ketinggian nosel 4 cm
18. Data temperatur pemadaman api alkohol $d = 8$ cm, ketinggian nosel 0 cm
19. Data temperatur pemadaman api alkohol $d = 8$ cm, ketinggian nosel 2 cm
20. Data temperatur pemadaman api alkohol $d = 8$ cm, ketinggian nosel 4 cm
21. Gambar ukuran dasar dudukan
22. Gambar dudukan pool fire
23. Gambar selubung dalam
24. Gambar selubung luar
25. Gambar assembly