

**KAJIAN EKSPERIMENTAL  
PENGUKURAN TEMPERATUR NYALA API  
PEMBAKARAN DIFUSI DAN NON DIFUSI GAS PROPANA  
DENGAN TEKNIK PENCITRAAN NYALA**

**TESIS**

Oleh

**EKO WARSITO**

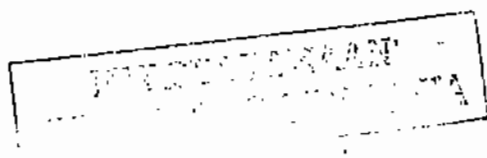
06 06 00 2931



T  
24417

**TESIS INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI MAGISTER TEKNIK**

**PROGRAM STUDI BIDANG TEKNIK  
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**



## PERNYATAAN PUBLIKASI


Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian jangka panjang mengenai "KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGUKURAN TEMPERATUR NYALA API PEMBAKARAN DIFUSI DAN NON DIFUSI GAS PROPANA DENGAN TEKNIK PENCITRAAN NYALA" dengan peneliti utama, yaitu :


**Prof. Dr. Ir. I MADE KARTIKA DHIPUTRA, Dipl.-Ing,**

Pengguna data dan Informasi yang tercantum dalam tesis ini untuk maksud publikasi ilmiah dan populer hanya dapat dilakukan peneliti utama atau atas ijin tertulis dari peneliti utama.

Peneliti Utama

Depok, 14 Juli 2008

  
Prof. Dr. Ir. I Made Kartika D., Dipl.-Ing.  
NIP. 130 70 2237

  
Eko Warsito  
NPM : 06 06 00 2931

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Kami menyatakan dengan sesungguhnya bahwa thesis dengan judul :

**KAJIAN EKSPERIMENTAL  
PENGUKURAN TEMPERATUR NYALA API  
PEMBAKARAN DIFUSI DAN NON DIFUSI GAS PROPANA  
DENGAN TEKNIK PENCITRAAN NYALA**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister teknik pada Program Studi Magister Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari Thesis yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar Magister Teknik dilingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 14 Juli 2008



Eko Warsito  
NPM. 06 06 00 29 31

## PENGESAHAN

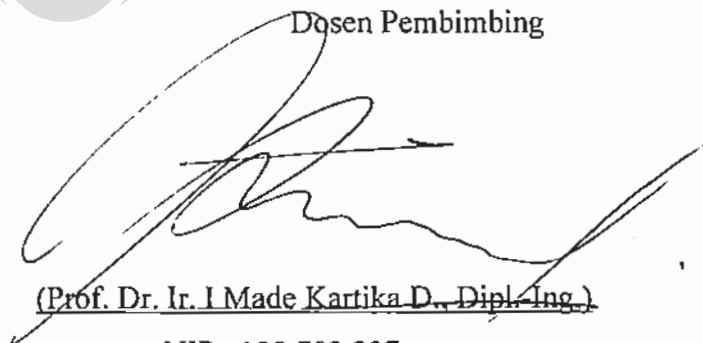
Tesis dengan judul :

**KAJIAN EKSPERIMENTAL  
PENGUKURAN TEMPERATUR NYALA API  
PEMBAKARAN DIFUSI DAN NON DIFUSI GAS PROPANA  
DENGAN TEKNIK PENCITRAAN NYALA**

Dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tesis ini telah diujikan pada sidang tesis pada tanggal 07 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai tesis pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 14 Juli 2008

Dosen Pembimbing



(Prof. Dr. Ir. I Made Kartika D., Dipl.-Ing.)

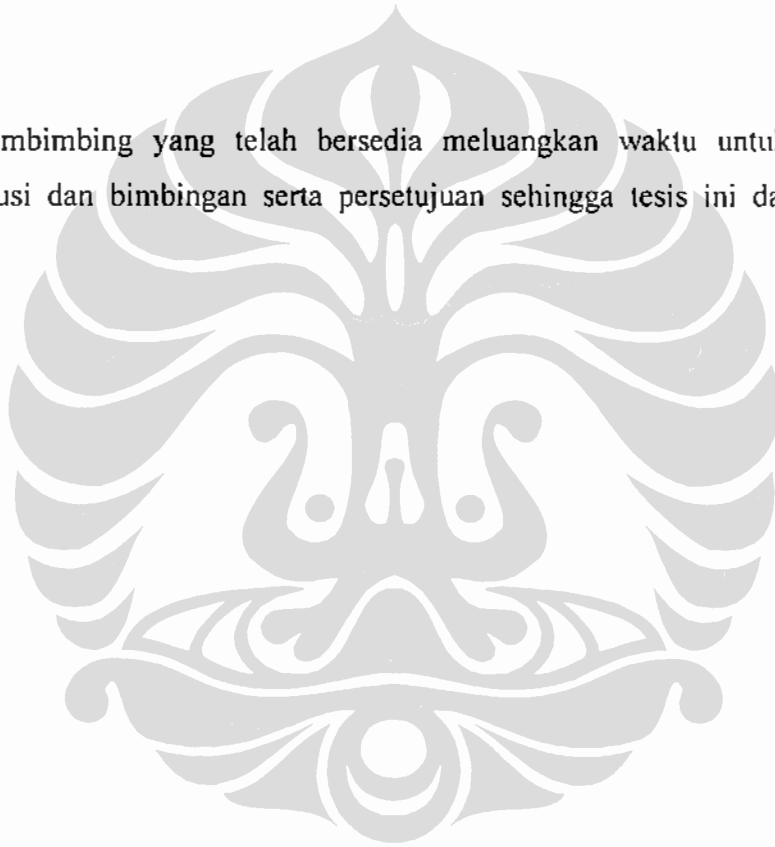
NIP. 130 702 237

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

**Prof. Dr. Ir. I Made Kartika D., Dipl.-Ing,**

Selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik.



Eko Warsito  
NPM 06 06 00 29 31  
Departemen Teknik Mesin

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing

**KAJIAN EKSPERIMENTAL  
PENGUKURAN TEMPERATUR NYALA API  
PEMBAKARAN DIFUSI DAN NON DIFUSI GAS PROPANA  
DENGAN TEKNIK PENCITRAAN NYALA**

**ABSTRAK**

Penelitian fenomena nyala api dari aspek temperatur sangat diperlukan untuk keperluan aplikasinya. Berdasarkan distribusi temperatur nyala api pembakaran maka dapat diketahui temperatur nyala api pada jarak tertentu. Hal ini sangat bermanfaat dalam perancangan burner sehingga pemanfaatan nyala api sebagai hasil pembakaran dapat lebih optimal.

Pada tesis ini telah dilakukan pengukuran temperatur maksimum nyala api dengan mempergunakan 3 alat ukur yakni 2 alat ukur dengan metode non kontak yakni Infra view dan infra red thermography. Alat ukur yang ketiga adalah termokopel type K. Nyala api yang diukur adalah nyala api dari gas propana pembakaran difusi dengan variasi sudut sembur udara, nyala api pembakaran non difusi dengan variasi panjang tabung burner dan diameter tabung burner.

Hasil pengukuran temperature maksimum nyala api pembakaran difusi menunjukkan bahwa, variasi sudut sembur sangat berpengaruh terhadap besarnya temperatur maksimum nyala api. Sedangkan hasil pengukuran temperature maksimum nyala api pada pembakaran non difusi diperoleh bahwa semakin panjang ukuran tabung burner akan menghasilkan pembakaran dengan temperatur maksimal yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan tabung yang lebih pendek. Demikian pula dengan diameter tabung, temperature maksimum nyala api meningkat dengan kenaikan diameter tabung.

*Kata kunci:* Temperatur maksimum nyala api, difusi, non difusi, gas propana, thermografi

Eko Warsito  
NPM 06 06 00 29 31  
Departemen Teknik Mesin

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing

*EXPERIMENTAL STUDY ON THE FLAME TEMPERATURE MEASUREMENT  
OF PROPANE DIFFUSION AND NON DIFFUSION FLAMES  
BASED ON IMAGE PROCESSING*

**ABSTRACT**

*Research on flame phenomenon derived from temperature is very significant for the combustion application. Based on flame temperature distribution, temperature on the certain point can be determined. Information of this temperature will be very useful for designing a burner in order to optimize the application of flame temperature.*

*Measurement of maximum flame temperature using 3 different apparatus have been done on this thesis. 2 of them used non contact methods which are Infra view and infra red thermography and the other used type K thermocouple. These measurement have been used for measuring propane diffusion with the variation of air jet angle and non diffusion flame with the variation of length and inside diameter of burner .*

*The result of experiment on diffusion flame showed that spray angle variations hardly having an effect on to level of flame maximum temperature. The result of experiment on non diffusion flame showed that longer burner would raise maximum flame temperature. It is the same as inside diameter of burner that would increase the maximum flame temperature.*

*Keyword: Maximum temperature of flame , diffusion , non Diffuson, gas propana, thermografi*

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PUBLIKASI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 BATASAN MASALAH	5
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	6
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	7
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	<b>8</b>
2.1 PEMBAKARAN	8
2.1.1 Pembakaran Non Difusi	8
2.1.2 Pembakaran Difusi	13
2.2 PENGUKURAN TEMPERATUR	20
2.2.1 Termokopel	20



2.2.2	Pengukuran Temperatur Dengan Radiasi	21
2.2.2.1	Radiasi Dari Gas Panas Dan Nyala Api Non Luminous	24
2.2.2.2	Radiasi Dari Nyala Api Luminous Dan Smoky Gas Panas	26
2.2.2.3	Pengukuran Temperatur Dengan Infra Red Thermografi	27
2.2.2.4	Pengukuran Temperatur Dengan Infra View Thermografi	28
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN</b>	<b>29</b>
3.1	PERALATAN PENELITIAN	29
3.1.1	Peralatan Utama	29
3.1.2	Peralatan Pendukung	32
3.2	PENYETARAAN SKALA PERALATAN	
3.2.1	Penyetaraan Skala Rotameter	32
3.2.1.1	Langkah-Langkah Persiapan Alat	32
3.2.1.2	Langkah-Langkah Penyetaraan Skala Rotameter	34
3.2.1.3	Grafik Hasil Penyetaraan Skala Rotameter	36
3.2.1	Penyetaraan Flow Meter Udara Pipa U	36
3.3	PROSEDUR PENGUJIAN	38
3.3.1	Persiapan Awal Peralatan Uji	38
3.3.2	Pengukuran Distribusi Dan Temperatur Maksimum Nyala Api Non Difusi	38
3.3.3	Pengukuran Distribusi Dan Temperatur Maksimum Nyala Api Difusi	39
3.4	DATA PENGUKURAN	40
3.5	CARA PERHITUNGAN	42
3.6	PENGOLAHAN DAN PENYETARAAN DATA	43

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>48</b>
4.1 PENGUKURAN TEMPERATUR NYALA API	48
4.1.1 Pengukuran Temperatur Nyala Api Dengan Termokopel	48
4.1.2 Pengukuran Temperatur Nyala Api Dengan Infra Red	49
4.1.3 Pengukuran Temperatur Nyala Api Dengan Infra View	52
4.2 PERBANDINGAN TEMPERATUR MAKSIMUM NYALA API	53
4.2.1 Perbandingan Temperatur Maksimum Nyala Api Difusi	53
4.2.2 Perbandingan Temperatur Maksimum Nyala Api Non Difusi	55
4.3 TEMPERATUR MAKSIMUM NYALA API DIFUSI	59
4.4 TEMPERATUR MAKSIMUM NYALA API NON DIFUSI	61
4.4.1 Temperatur Maksimum Nyala Api Dengan Variasi Panjang Tabung pembakar	61
4.4.2 Temperatur Maksimum Nyala Api Dengan Variasi Diameter Tabung pembakar	63
4.4 DISTRIBUSI TEMPERATUR PEMBAKARAN NYALA API NON DIFUSI	64
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>66</b>
5.1 KESIMPULAN	66
5.1 SARAN	66
DAFTAR ACUAN	67
LAMPIRAN	70

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.1</b>	Metode penelitian 6
<b>Gambar 2.1</b>	Bunsen's burner 9
<b>Gambar 2.2</b>	Struktur nyala 9
<b>Gambar 2.3</b>	Vektor diagram kecepatan nyala laminar 10
<b>Gambar 2.4</b>	Tahapan proses pembakaran non difusi 11
<b>Gambar 2.5</b>	Diagram stabilitas <i>flashback</i> , <i>lift-off</i> , dan <i>yellow tipping</i> untuk bahan bakar gas industri 12
<b>Gambar 2.6</b>	Over-ventilated dan Under-ventilated pada nyala api difusi 14
<b>Gambar 2.7</b>	Tahapan proses pembakaran difusi 15
<b>Gambar 2.8</b>	Prediksi ketebalan <i>preheat zone</i> berdasarkan <i>profile</i> temperatur 16
<b>Gambar 2.9</b>	<i>Profile</i> temperatur <i>propane</i> -udara 17
<b>Gambar 2.10</b>	Skematik nyala api difusi (a) <i>free jet</i> (b) <i>confined jet</i> 19
<b>Gambar 2.11</b>	Sambungan dua logam berlainan yang menunjukkan efek termoelektrik 20
<b>Gambar 2.12</b>	Hubungan suhu terhadap tge pada bahan-bahan termokopel 21
<b>Gambar 2.13</b>	(a) Daya emisi benda hitam sebagai fungsi panjang gelombang dan suhu 23 (b) Perbandingan antara daya emisi benda hitam dan benda kelabu dengan daya permukaan nyata.
<b>Gambar 2.14</b>	Emisivity Gas CO <sub>2</sub> dan H <sub>2</sub> O 26
<b>Gambar 3.1</b>	Skema pengambilan data pada pembakaran non difusi 29
<b>Gambar 3.2</b>	Skema Pengambilan data pada pembakaran difusi 29
<b>Gambar 3.3</b>	Penampang nosel 30
<b>Gambar 3.4</b>	Kalibrasi rotameter 35
<b>Gambar 3.5</b>	Grafik Penyetaraan Laju Aliran Propana Terhadap Rotameter 36

<b>Gambar 3.6</b>	Grafik Penyetaraan Laju Aliran Udara Terhadap Rotameter	36
<b>Gambar 3.7</b>	Penyetaraan pembacaan <i>flowmeter</i> udara (pipa U)	38
<b>Gambar 4.1</b>	Pencitraan nyala api Non defusi pada AFR 23,3 pada barrel 14/25 dengan emisivity 0.020535	52
<b>Gambar 4.2</b>	Pengaruh flow bahan bakar terhadap temperatur maksimum pada pembakaran difusi .	53
<b>Gambar 4.3</b>	Penyimpangan pengukuran pada pembakaran difusi .	54
<b>Gambar 4.4</b>	Pengaruh AFR terhadap temperatur maksimum nyala api pada tabung pembakar 14/38	55
<b>Gambar 4.5</b>	Prosentase selisih pengukuran temperatur maksimum nyala api pada tabung pembakar 14/38	56
<b>Gambar 4.6</b>	Pengaruh AFR terhadap temperatur maksimum nyala api pada tabung pembakar 14/25	56
<b>Gambar 4.7</b>	Prosentase selisih pengukuran temperatur maksimum nyala api pada tabung pembakar 14/25	57
<b>Gambar 4.8</b>	Pengaruh AFR terhadap temperatur maksimum nyala api pada tabung pembakar 10/25.	58
<b>Gambar 4.9</b>	Prosentase selisih pengukuran temperatur maksimum nyala api Vs AFR pada tabung pembakar 10/25	59
<b>Gambar 4.10</b>	Pengaruh flow dan variasi sudut sembur udara terhadap temperatur maksimum nyala api	60
<b>Gambar 4.11</b>	Pengaruh Sudut dan Variasi Flow udara sembur terhadap temperatur maksimum nyala api	61
<b>Gambar 4.12</b>	Pengaruh AFR dan variasi tinggi tabung pembakar terhadap temperatur maksimum nyala api	61
<b>Gambar 4.13</b>	Pengaruh AFR dan diameter barrel terhadap Temperatur Maksimum nyala api	63
<b>Gambar 4.14</b>	Distribusi Temperatur vertikal nyala api ( <i>center side</i> ) pada variasi AFR	64

## DAFTAR TABEL

		Halaman
<b>Tabel 2.1</b>	Panjang berkas rata-rata, L, untuk Berbagai Geometri	25
<b>Tabel 3.1</b>	Data pembacaan <i>flowmeter</i> udara	37
<b>Tabel 3.2</b>	Pengukuran Temperatur Maksimum Nyala Non Difusi Pada Tabung Pembakar 14mm/380mm Dengan Variasi Alat Ukur	40
<b>Tabel 3.3</b>	Pengukuran Temperatur Maksimum Nyala Non Difusi Pada Tabung Pembakar 14mm/250mm Dengan Variasi Alat Ukur	40
<b>Tabel 3.4</b>	Pengukuran Temperatur Maksimum Nyala Non Difusi Pada Tabung Pembakar 10mm/250mm Dengan Variasi Alat Ukur	41
<b>Tabel 3.5</b>	Pengukuran Temperatur Maksimum Nyala Difusi Dengan Variasi Alat Ukur	41
<b>Tabel 3.6</b>	Pengukuran Temperatur Maksimum Nyala Difusi Dengan Varisi Sudut Dan Flow Udara Sembur	42
<b>Tabel 3.7</b>	Data Olahan Dan Penyetaraan Pengukuran Temperatur Maksimum Nyala Non Difusi pada Tabung Pembakar 14mm/380mm Dengan Variasi Alat Ukur	43
<b>Tabel 3.8</b>	Data Olahan Dan Penyetaraan Pengukuran Temperatur Maksimum Nyala Non Difusi pada Tabung Pembakar 14mm/250mm Dengan Variasi Alat Ukur	44
<b>Tabel 3.9</b>	Data Olahan Dan Penyetaraan Pengukuran Temperatur Maksimum Nyala Non Difusi pada Tabung Pembakar 10mm/250mm Dengan Variasi Alat Ukur	44
<b>Tabel 3.10</b>	Data Olahan dan Penyetaraan Pengukuran Temperatur Maksimum Nyala Difusi Dengan Variasi Alat Ukur	45

<b>Tabel 3.11</b>	Data Olahan Dan Penyetaraan Pengukuran Temperatur Maksimum Nyala Difusi Dengan Varisi Sudut Dan Flow Udara Sembur	45
<b>Tabel 3.12</b>	Data Penyimpangan Pengukuran Temperatur Maksimum Terhadap Infra View pada Tabung Pembakar 14mm/380mm	46
<b>Tabel 3.13</b>	Data Penyimpangan Pengukuran Temperatur Maksimum Terhadap Infra View pada Tabung Pembakar 14mm/250mm	46
<b>Tabel 3.14</b>	Data Penyimpangan Pengukuran Temperatur Maksimum Terhadap Infra View pada Tabung Pembakar 10mm/250mm	47
<b>Tabel 3.15</b>	Data Penyimpangan Pengukuran Temperatur Maksimum Terhadap Infra View pada Nyala Difusi	47
<b>Tabel 4.1</b>	Pengukuran temperature nyala api non defusi pada AFR 23.3 Pada barrel 14/25 dengan Termokopel	49
<b>Tabel 4.2</b>	Diameter nyala api , Reaction zone dan Gradient kenaikan Temperatur Pada Diameter Tabung Pembakar 14 mm dan Panjang 250 mm	65

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
$Y_p$	Fraksi massa gas propana	-
$m_p$	Massa propana	kg
$m_u$	Massa udara	kg
$Y_u$	Fraksi massa udara	-
$\rho_p$	Massa jenis propana	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_u$	Massa jenis udara	kg/m <sup>3</sup>
$C_p$	Kapasitas panas spesifik propana pada tekanan konstan	J/kg <sup>o</sup> C
$C_u$	Kapasitas panas udara pada tekanan konstan	J/kg <sup>o</sup> C
$T_{ig}$	Temperatur nyala api	°C
$T_u$	Temperatur pada awal <i>preheat zone</i>	°C
$\alpha$	<i>Thermal diffusivity</i>	m <sup>2</sup> /s
$\eta_o$	Ketebalan <i>preheat zone</i>	m
$v$	Kecepatan aliran gas	m/s
$\delta$	Sudut antara kecepatan pembakaran dengan kecepatan aliran gas	°
$S_u$	Kecepatan pembakaran	m/s
$R$	Radius Kurvatur api	m
$K$	Bilangan Karlovitz	
$x_u$	Jarak $T_u$	m
$x_{ig}$	Jarak $T_{ig}$	m
$d_1$	Diameter nosel 1	m
$d_2$	Diameter nosel 2	m
$c$	Emisivitas	