



UNIVERSITAS INDONESIA

**FENOMENA *FLAME LIFT-UP*
PADA PEMBAKARAN *PREMIXED GAS PROPANA***

DISERTASI

COKORDA PRAPTI MAHANDARI

0606037525

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**FENOMENA *FLAME LIFT-UP*
PADA PEMBAKARAN *PREMIXED* GAS PROPANA**

DISERTASI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor

COKORDA PRAPTI MAHANDARI

0606037525

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Cokorda Prapti Mahandari

NPM : 0606037525

Tanda tangan : 

Tanggal : 2 Agustus 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh :

Nama : Cokorda Prapti Mahandari
NPM : 0606037525
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Disertasi : Fenomena *Flame Lift-up* pada Pembakaran
Premixed Gas Propana

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

DEWAN PENGUJI

Promotor : Prof. Dr. I Made Kartika D, Dipl.-Ing ()
Kopromotor : Prof. Dr. H. Bambang Sugiarto, MEng ()
: Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc ()
Tim Penguji : Prof. Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer, DEA ()
: Prof. Dr. Ir. T. A. Fauzi Soelaiman, MSME ()
: Prof. Dr.-Ing. Ir. Nandy S. Djaya Putra ()
: Dr. Ir. Harinaldi, MEng ()
: Dr. Ir. Adi Suryosatyo, MEng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Agustus 2010

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmatnya saya dapat menyelesaikan disertasi ini. Penulisan disertasi dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan disertasi ini telah saya terima sehingga disertasi ini bisa terwujud. Oleh karena itu saya menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing, selaku promotor yang telah memberikan topik *Flame lift-up*, fenomena pembakaran yang telah lama ditemukan oleh beliau untuk saya teliti serta menyediakan waktu, tenaga, pikiran dan kesabaran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan disertasi ini.
2. Prof. Dr. Ir. H. Bambang Sugiarto, M.Eng, selaku ko-promotor yang telah menyediakan waktu disela-sela kesibukan sebagai Dekan FT- UI.
3. Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc., PhD, selaku ko-promotor atas masukannya yang sangat berguna.
4. Anggota Tim Penguji Prof Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer, DEA, Prof Dr. Ir. Tubagus Ahmad Fauzi Soelaiman MSME, Dr. Ir. Adi Suryosatyo, MEng atas saran-sarannya.
5. Dr. Ir. Harinaldi., MEng selaku Kepala Departemen Teknik Mesin, anggota Tim Penguji, atas pinjaman wet gas meter-nya, saran serta koreksian yang sangat teliti.
6. Prof Dr. Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra selaku anggota Tim Penguji juga atas bantuannya berupa jurnal-jurnal internasional, Dr.-rer.nat. Ir. Yuswan Muharam, MT atas pinjaman CD Chemkin, Dr. Ir. Ganjar Kiswanto, MEng, atas monitoring dan info disertasinya serta seluruh keluarga besar Departemen Teknik Mesin atas segala bantuannya.
7. DRPM UI atas bantuan Hibah Program S3 Kontrak No 242F/DRPM-UI/N1.4/2008

8. Yayasan Pendidikan Gunadarma, Rektor Universitas Gunadarma Prof. Dr. E.S. Margianti, SE., MM dan Pembantu Rektor II Universitas Gunadarma Prof. Suryadi Harmanto, SSi, MM atas ijin dan bantuan dananya sehingga memungkinkan saya menempuh jenjang pendidikan S3.
9. Dr. Asep Juarna SSi, MKom dan keluarga, Trini Saptariani SKom, MM, serta seluruh keluarga besar Universitas Gunadarma yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu atas dukungan dan doanya.
10. PT PLN PJB Suralaya dan PT PJB Paiton atas pinjaman alatnya
11. Zheng Chen, PhD dari Princeton University, Rosyida Permatasari dari UTM, Arjun K.C dari Halifax Kanada dan Gede Shantika dari TU Eindhoven Belanda atas kiriman jurnalnya.
12. Seluruh anggota grup riset *Flame and Combustion*, Bu Catur, Pak Eko, Pak Hamdan, Pak Tomo, Pak Cahyo, Pak Dimitri, Amri, Taufiq, Rahmat, Aye, dan lain lain atas kerjasamanya.
13. Suamiku Nyoman Darma Adi dan anak-anakku Dika, Devinda dan Oni, keluarga besar Puri Kaleran Bangli dan keluarga di Lampung atas dukungan dan doanya.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan balasan dan perlindungan kepada semua pihak yang telah membantu saya. Saya menyadari bahwa disertasi ini belum sempurna namun saya berharap semoga disertasi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu khususnya teknik pembakaran.

Depok, Agustus 2010

Cokorda Prapti Mahandari

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
DISERTASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Cokorda Prapti Mahandari
NPM : 0606037525
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Disertasi

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:

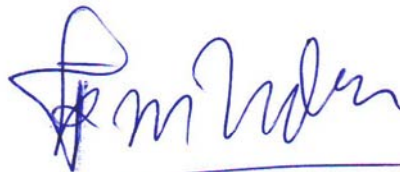
Fenomena *Flame Lift-up* pada Pembakaran *Premixed Gas Propana*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database).

Penggunaan data dan informasi yang tercantum dalam disertasi ini untuk maksud publikasi ilmiah dan populer hanya dapat dilakukan oleh peneliti utama atau atas ijin tertulis dari peneliti utama sebagai penanggungjawab dalam penelitian "*Flame Lift-up*" pada "*Flame and Combustion Research Group*".

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 2 Agustus 2010
Yang menyatakan,

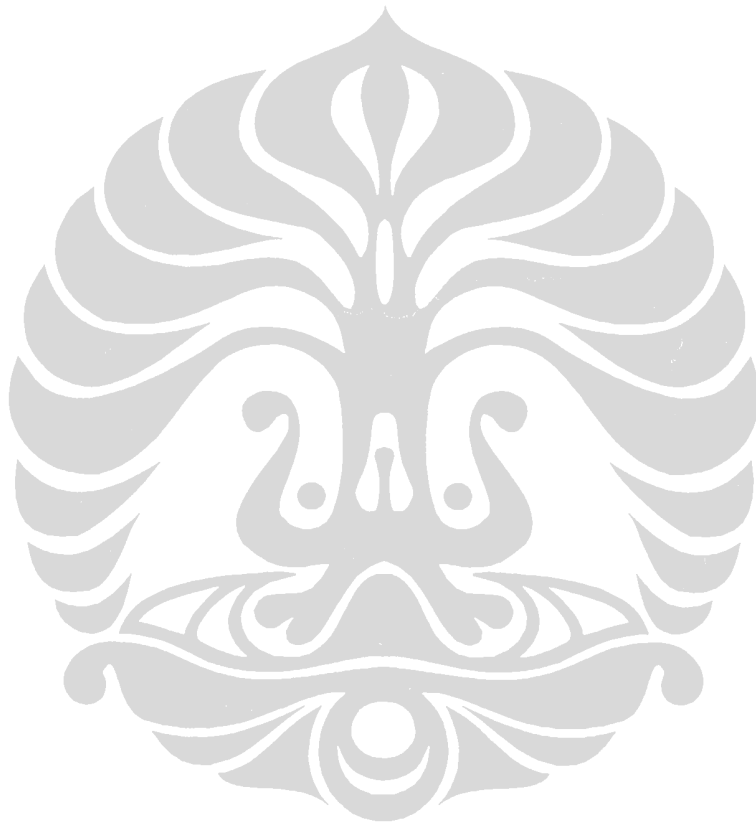


(Cokorda Prapti Mahandari)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR ISTILAH/SIMBOL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Masalah Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	5
1.5 Metode Penelitian	5
1.6 Sistematika Penelitian	7
2. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Pembakaran	8
2.2 Klasifikasi Nyala	9
2.3 Struktur Nyala Api Laminer	11
2.4 Data base Nyala Api Premix Turbulen	15
2.5 Teori dan Pemodelan Pembakaran	18
2.6 Stabilitas Nyala	24
2.7 Panjang Nyala Api	31
2.8 Simulasi dengan Perangkat Lunak	32
3. METODE PENELITIAN	36
3.1 Peralatan Penelitian	37
3.2 Penyetaraan Flowmeter dan Termokopel	39
3.3 Metode Pengambilan Data	42
3.4 Simulasi dengan Perangkat Lunak	46
3.5 Kajian Teoritis Fenomena <i>Flame Lift-up</i> , Kestabilan Nyala dan Panjang Nyala	51
4. FENOMENA FLAME LIFT-UP	54
4.1 Kajian Eksperimental	54
4.2 Analisa Laju Kehilangan Kalor pada Fenomena <i>Flame Lift-up</i> ...	78
4.3 Hasil Simulasi dengan Pendekatan <i>Eddy Dissipation Rate</i>	91
5. KESTABILAN NYALA API SETELAH LIFT-UP	97
5.1 Kestabilan Nyala <i>Lift-up</i>	97
5.2 Kajian Teoritis Fenomena <i>Blow off</i> pada Nyala <i>Lift-up</i>	106

6. PANJANG NYALA API PADA FENOMENA <i>FLAME LIFT-UP</i>	111
6.1 Kajian Eksperimental Panjang Nyala Api <i>Lift-up</i>	111
6.2 Korelasi Panjang Nyala Api <i>Lift-up</i>	122
6.3 Kajian Teoritis Panjang Nyala Api <i>Lift-up</i>	124
7. KESIMPULAN	134
DAFTAR ACUAN	136
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Nyala api sebelum dan setelah <i>lift-up</i> .	3
Gambar 1.2	Diagram alir penelitian fenomena <i>flame lift-up</i>	6
Gambar 2.1	Struktur nyala api dengan satu langkah asimptotik	11
Gambar 2.2	Kecepatan pembakaran vs <i>equivalens ratio</i>	12
Gambar 2.3	Sketsa vektor kecepatan pembakaran laminar	13
Gambar 2.4	Ilustrasi <i>characteristic thickness</i>	14
Gambar 2.5	Nyala api stasioner isotropis turbulen	16
Gambar 2.6	Nyala api stasioner dengan <i>shear turbulen</i>	17
Gambar 2.7	Daerah pembagian nyala turbulen	20
Gambar 2.8	Perbandingan kecepatan antara simulasi dan eksperimen pada nyala <i>flicker</i>	21
Gambar 2.9	<i>Stretch rate</i> pembakaran propana dan udara	22
Gambar 2.10	Bilangan Karlovitz 1-D untuk nyala campuran propana dan udara	23
Gambar 2.11	Variasi bilangan Karlovitz Lokal berdasarkan ketebalan nyala campuran propana dan udara	23
Gambar 2.12	Diagram stabilitas <i>flashback</i> , <i>lift-off</i> , dan <i>yellow tipping</i> untuk bahan bakar gas industri	24
Gambar 2.13	Perbandingan ketinggian lift-off antara kondisi gravitasi normal dan tanpa gravitasi	26
Gambar 2.14	<i>Residual flame</i> mendekati <i>blow-off</i>	27
Gambar 2.15	Photo percobaan <i>ring stabilizer</i>	28
Gambar 2.16	Distribusi kecepatan kondisi aliran dingin dan pembakaran	
Gambar 3.1.	Diagram alir langkah eksperimental	36
Gambar 3.2	<i>Ring</i> AISI 304 variasi diameter dalam	38
Gambar 3.3	Penyetaraan rotameter dengan <i>wet gas meter</i>	40
Gambar 3.4	Grafik penyetaraan laju aliran propana	40
Gambar 3.5	Grafik penyetaraan laju aliran udara	41
Gambar 3.6	Grafik penyetaraan temperatur T1	41
Gambar 3.7	Grafik penyetaraan temperatur T2	42
Gambar 3.8	Skema penelitian menggunakan <i>Infra Red Thermograph</i>	43
Gambar 3.9	Skema pengukuran temperatur nyala menggunakan termokopel	43
Gambar 3.10	Citra pengukuran temperatur ujung <i>burner</i>	44
Gambar 3.11	Citra pengukuran temperatur dan panjang nyala	45
Gambar 3.12	Tampilan data hasil pengukuran dengan <i>Thermograph InfraView</i>	46
Gambar 3.13	Tampilan <i>grid</i>	47
Gambar 3.14	Tampilan aktivasi model pengaruh viskositas	47
Gambar 3.15	Tampilan jenis reaksi yang dipilih	48
Gambar 3.16	Jendela utama aplikasi Aurora	50
Gambar 3.17	Tampilan output dalam bentuk grafik	50

Gambar 4.1	Nyala yang menempel pada <i>ring</i> bagian bawah	
Gambar 4.2.	Nyala arah radial <i>ring</i>	
Gambar 4.3	Penurunan konsentrasi bahan bakar	
Gambar 4.4	Kontur tekanan pada <i>ring</i> $D_i=10$ mm dan $x_r=10$ mm	62
Gambar 4.5	Daerah resirkulasi di atas bluffbody	63
Gambar 4.6	Grafik <i>AFR</i> saat <i>lift-up</i> pada <i>ring stainless steel</i>	64
Gambar 4.7	Grafik <i>AFR</i> saat <i>lift-up</i> untuk <i>ring</i> dari keramik dan <i>stainless steel</i>	65
Gambar 4.8	Rasio equivalens saat <i>lift-up</i>	65
Gambar 4.9	Kontur kecepatan aliran pada simulasi pembakaran <i>premixed</i>	66
Gambar 4.10	Kontur kecepatan aliran pada simulasi aliran dingin	67
Gambar 4.11	Grafik temperatur ujung <i>burner</i>	67
Gambar 4.12	Grafik temperatur ujung <i>burner</i> sebelum dan setelah <i>lift-up</i>	69
Gambar 4.13	Tampilan temperatur maksimum nyala pada kondisi adiabatis	76
Gambar 4.14	Tampilan temperatur nyala pada kondisi terjadi kerugian kalor	76
Gambar 4.15	Temperatur maksimum nyala api	77
Gambar 4.16	Grafik temperatur maksimum nyala api variasi diameter dalam ring	77
Gambar 4.17	Skema bentuk nyala Bunsen	79
Gambar 4.18	Skema model matematis pendekatan kerucut nyala Bunsen	79
Gambar 4.19	Rasio equivalens terhadap jarak lifted dan temperatur ujung <i>burner</i>	81
Gambar 4.20	Laju kehilangan panas pada nyala Bunsen	82
Gambar 4.21	Skema model matematis analisa fenomena <i>lift-up</i>	82
Gambar 4.22	Bilangan Damkohler pada simulasi pembakaran <i>premixed</i>	84
Gambar 4.23	Tampilan hasil simulasi turbulen kinetik reaksi	85
Gambar 4.24	Temperatur maksimum nyala pada <i>ring</i> dari baja	87
Gambar 4.25	Temperatur nyala pada <i>ring</i> keramik	87
Gambar 4.26	Temperatur <i>ring</i> pada <i>ring stainless steel</i>	88
Gambar 4.27	Temperatur <i>ring</i> pada <i>ring</i> keramik	88
Gambar 4.28	Tampilan hasil simulasi temperatur <i>ring</i> setelah <i>lift-up</i>	89
Gambar 4.29	<i>Wake</i> yang terbentuk di atas <i>ring</i> dan di bawah <i>ring</i>	90
Gambar 4.30	Kontur kecepatan pada simulasi pembakaran <i>premixed</i>	90
Gambar 4.31	Kontur kecepatan pada posisi ring 10 mm dan diameter dalam <i>ring</i> 7 mm	91
Gambar 4.32	Kontur kecepatan pada posisi ring 10 mm dan diameter dalam <i>ring</i> 10 mm	92

Gambar 4.33	Kontur kecepatan pada posisi ring 10 mm dan diameter dalam <i>ring</i> 14 mm	92
Gambar 4.34	Kontur kecepatan pada posisi ring 30 mm dan diameter dalam <i>ring</i> 7 mm	93
Gambar 4.35	Kontur kecepatan pada posisi ring 30 mm dan diameter dalam <i>ring</i> 10 mm	93
Gambar 4.36	Kontur kecepatan pada posisi ring 30 mm dan diameter dalam <i>ring</i> 14 mm	94
Gambar 4.37	Kontur temperatur maksimum nyala pada $D_i=7$ mm	94
Gambar 4.38	Kontur temperatur maksimum nyala pada $D_i=10$ mm	95
Gambar 4.39	Kontur temperatur maksimum nyala pada $D_i=14$ mm	95
Gambar 4.40	Kontur k	96
Gambar 4.41	Kontur ϵ	96
Gambar 5.1	Grafik kestabilan nyala gas propana	97
Gambar 5.2	<i>Burning Load</i> saat <i>lift-up</i>	99
Gambar 5.3	Kontur fraksi massa C_3H_8 pada simulasi aliran dingin	100
Gambar 5.4	Grafik <i>AFR</i> saat <i>blow off</i> dan <i>lift-up</i> pada <i>ring</i> $D_i=7$ mm	101
Gambar 5.5	Grafik <i>AFR</i> saat <i>blow off</i> dan <i>Lift-up</i> pada <i>ring</i> $D_i=10$ mm	102
Gambar 5.6	Grafik <i>AFR</i> saat <i>blow off</i> dan <i>Lift-up</i> pada <i>ring</i> $D_i=14$ mm	103
Gambar 5.7	Grafik <i>AFR</i> saat <i>lift-up</i> pada <i>ring</i> diameter dalam 10 mm	104
Gambar 5.8	Daerah kestabilan nyala api <i>lift-up</i> pada <i>ring</i> keramik $D_i=10$ mm	105
Gambar 5.9	Tampilan grafik <i>residence time</i> pada $D_i=10$ mm dan $x=10$ mm	107
Gambar 5.10	Tampilan grafik <i>residence time</i> pada $D_i=10$ mm dan $x=20$ mm	107
Gambar 5.11	Tampilan grafik <i>residence time</i> pada $D_i=10$ mm dan $x=30$ mm	108
Gambar 5.12	Tampilan grafik <i>residence time</i> pada $D_i=10$ mm dan $x=40$ mm	108
Gambar 6.1	Pengaruh <i>Burning Load</i> pada variasi diameter dalam <i>ring</i>	115
Gambar 6.2	Pengaruh <i>Burning Load</i> pada variasi posisi <i>ring</i>	116
Gambar 6.3	Grafik <i>AFR</i> saat <i>lift-up</i> pada variasi diameter dalam <i>ring</i>	117
Gambar 6.4	Pengaruh posisi <i>ring</i> pada variasi laju aliran bahan bakar	118
Gambar 6.5	Pengaruh diameter dalam <i>ring</i> pada variasi laju aliran bahan bakar	119
Gambar 6.6	Perbandingan grafik panjang nyala <i>ring</i> keramik	121

Gambar 6.7	Perbandingan panjang nyala api <i>ring</i> keramik dan <i>ring stainless steel</i>	121
Gambar 6.8	Sistem koordinat analisa panjang nyala setelah <i>lift-up</i>	125
Gambar 6.9	Radius nyala pada variasi fraksi massa oksigen pada gas terbakar	129
Gambar 6.10	Panjang nyala teoritis dan eksperimental pada $D_i=7\text{mm}$	131
Gambar 6.11	Panjang nyala teoritis dan eksperimental pada $D_i=10\text{ mm}$	131
Gambar 6.12	Panjang nyala teoritis dan eksperimental pada $D_i=14\text{ mm}$	132



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil percobaan tanpa <i>ring</i>	54
Tabel 4.2	Hasil Percobaan dengan <i>ring stainless steel</i> $Di = 7$ mm	55
Tabel 4.3	Hasil Percobaan dengan <i>ring stainless steel</i> $Di = 10$ mm	57
Tabel 4.4	Hasil Percobaan dengan <i>ring stainless steel</i> $Di = 14$ mm	59
Tabel 4.5	Hasil Percobaan dengan <i>ring</i> keramik $Di = 10$ mm	60
Tabel 4.6.a	Hasil perhitungan untuk percobaan tanpa <i>ring</i>	61
Tabel 4.6.b	Hasil pengukuran temperatur tip <i>burner</i>	61
Tabel 4.7	Hasil perhitungan percobaan dengan <i>ring stainless steel</i> $Di = 7$ mm	64
Tabel 4.8	Hasil perhitungan percobaan dengan <i>ring stainless steel</i> $Di = 10$ mm	65
Tabel 4.9	Hasil perhitungan percobaan dengan <i>ring stainless steel</i> $Di = 14$ mm	66
Tabel 4.10	Hasil perhitungan percobaan dengan <i>ring</i> keramik $Di = 10$ mm	67
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan $S_{L,c}$ pada <i>ring</i> AISI 304	86
Tabel 5.1	Hasil Perhitungan daerah kestabilan nyala <i>lift-up</i>	104
Tabel 5.2	Hasil Perhitungan daerah kestabilan nyala <i>lift-up</i> pada <i>ring</i> keramik	106
Tabel 5.3	<i>Blow off residence time</i> dan waktu aliran fisik	109
Tabel 6.1	Hasil perhitungan parameter panjang nyala diameter dalam <i>ring</i> 7 mm	112
Tabel 6.2	Hasil perhitungan parameter panjang nyala diameter dalam <i>ring</i> 10 mm	113
Tabel 6.3	Hasil perhitungan parameter panjang nyala diameter dalam <i>ring</i> 14 mm	114
Tabel 6.4	Hasil perhitungan parameter panjang nyala <i>ring</i> keramik $Di = 10$ mm	120
Tabel 6.5	Tabel bilangan natural komponen korelasi panjang nyala	124

DAFTAR ISTILAH/SIMBOL

A	Luas penampang	m^2
<i>AFR</i>	<i>Air Fuel Ratio</i>	
BL	<i>Burning Load</i>	W/m^2
C	Konsentrasi molar reaktan atau produk	mol/m^3
Da	Damkohler	
D	Diameter	m
Ea	Energi aktivasi	J/kg
<i>F</i>	Rasio campuran	
<i>FAR</i>	<i>Fuel Air Ratio</i>	
Fr	Bilangan Froude	
H	Tinggi nyala	m
h	Enthalpi	J/kg
HV	<i>Heating Value</i>	J/m^3
k	Konstanta laju reaksi	
K	Bilangan Karlovitz	
Ka	<i>Flame stretch</i>	s^{-1}
K	Konduktivitas thermal	$W/m^2.K$
L	Panjang nyala	m
Le	Bilangan Lewis	
M	Massa molal	
\dot{m}	Laju massa udara	kg/s
\dot{m}	Laju massa bahan bakar	kg/s
N	Jumlah mol	
n	Jumlah zat yang bereaksi	
Q	Laju kehilangan kalor	$J/s.m^3$
R	Konstanta gas	
Re	Bilangan Reynolds	
S	Kecepatan pembakaran	m/s
S	Entropi	$J/kg.K$
T	Temperatur	K
T	Waktu	s
U	Kecepatan campuran	m/s
X	Jarak <i>ring</i> dari ujung burber	m
Y	Fraksi massa	
Ze	Bilangan Z'eldovich	
α	Diffusivitas	m^2/s
ρ	Massa jenis	kg^3/m
ϕ	Rasio Equivalen	
η	Tebal nyala	m
μ	Viskositas	m^2/s^2
ω	Laju pembentukan	kg/s
v	Koefisien stoikiometri	

Subscript

A Udara
Chem. Kimia
B Gas terbakar
b *Backward*
Bf *Back fired*

F *Fuel*
f *Forward*
L Laminer
LO *Lift-off*
Ig *Ignition*
Maks Maksimum
O Oksigen
o,a Oksigen di udara
o,M Oksigen di campuran
U Gas belum terbakar
Res *Resident*
Ref Referensi
St Stoikiometrik
T Turbulen

Superscript

' Reaktan
" Produk
o Kondisi standar



DAFTAR LAMPIRAN

No Lampiran

- 1 Data bahan bakar
- 2 Analisis perhitungan kesalahan dan perambatan kesalahan
- 3 Tabel hasil perhitungan
- 4 Perhitungan $S_{L,c}$
- 5 Perhitungan Bilangan Damkohler
- 6 Tabel perhitungan untuk korelasi panjang nyala
- 7 Tabel perhitungan panjang nyala teoritis

