

**ANALISIS PENGARUH SUDUT PENGARAH
INJEKSI UDARA TERHADAP PANJANG
NYALA API DIFUSI BAHAN BAKAR PROPANA
PADA BURNER GAS TIPE "EJECTED COMBUSTOR"**

TESIS

DISUSUN OLEH :

OMBUN SIHOMBING
NPM : 06 06 00 3000



T

24237

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

**PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS INDONESIA**

PERNYATAAN PUBLIKASI

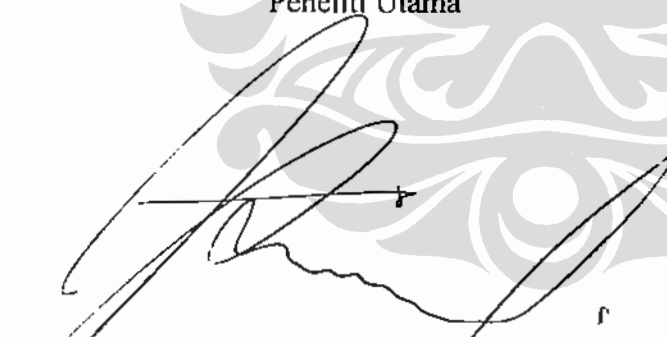
Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian jangka panjang mengenai "ANALISIS PENGARUH SUDUT PENGARAH INJEKSI UDARA TERHADAP PANJANG NYALA API DIFUSI BAHAN BAKAR PROPANA PADA BURNER GAS TIPE "EJECTED COMBUSTOR" dengan peneliti utama, yaitu :

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


Penggunaan data dan informasi yang tercantum dalam thesis ini untuk maksud publikasi ilmiah dan populer hanya dapat dilakukan peneliti utama atau atas ijin tertulis dari peneliti utama.

Peneliti Utama

Depok, Juli 2008



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



Ombun Sihombing
NPM : 06 06 00 3000

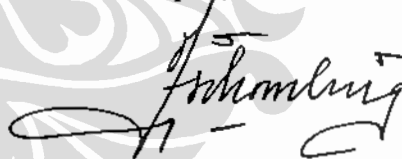
PERNYATAAN KEASLIAN THESIS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Thesis dengan judul :

**ANALISIS PENGARUH SUDUT PENGARAH INJEKSI UDARA
TERHADAP PANJANG NYALA API DIFUSI BAHAN BAKAR
PROPANA PADA BURNER GAS TIPE "EJECTED COMBUSTOR"**

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Magister Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari thesis yang pernah di publikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar mata kuliah thesis atau mendapatkan gelar Magister di lingkungan Universitas Indonesia maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang dikutip dan sumber informasi/refrensinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, Juli 2008



OMBUN SIHOMBING
NPM : 06 06 00 3000

PENGESAHAN

Thesis dengan judul :

**ANALISIS PENGARUH SUDUT PENGARAH INJEKSI UDARA
TERHADAP PANJANG NYALA API DIFUSI BAHAN BAKAR PROPANA
PADA BURNER GAS TIPE "EJECTED COMBUSTOR"**

Dibuat untuk melengkapi persyaratan kurikulum Program Magister Teknik Bidang Ilmu Teknik Universitas Indonesia guna memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Pascasarjana Program Studi Teknik Mesin.

Thesis ini telah disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian Thesis.

Depok, Juli 2008
Dosen Pembimbing

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

NIP : 130 702 237

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas karena Kemurahan dan Penyertaan-Nya Penelitian Thesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini merupakan syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik Bidang Ilmu Keteknikan.

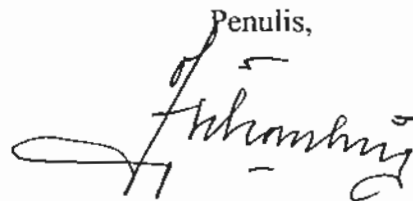
Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayahanda, ibunda dan saudara-saudaraku tercinta yang telah memberikan kasih sayang, motivasi dan dukungan moril;
2. Keluarga tercinta, yaitu istri saya : Lisbet Panjaitan, anak-anak saya : Anjhu Jessica, Ranz Tapian, Indy Pedro Natanael dan Palolo Frizer yang telah memberikan kasih sayang, motivasi dan dukungan moril;
3. PT. PLN (Persero) yang telah mendanai seluruh biaya pendidikan program pascasarjana;
4. Prof. Dr. Ir. I. Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing, selaku pembimbing penelitian, yang telah banyak meluangkan waktu untuk membimbing penulis hingga penelitian Thesis ini selesai;
5. DR-Ing. Ir. Nasruddin, MEng, selaku pembimbing akademis;
6. Ni Ketut Caturwati dan Tri Nugroho rekan *Research Sub Group Diffusion Flame and Combustion* selaku mahasiswa S3 dan S1 yang sedang melakukan penelitian pembakaran gas secara difusi;
7. Rekan-rekan *Research Group Flame and Combustion*;
8. Dosen dan staff Fakultas Teknik Mesin Universitas Indonesia;

Smoga penelitian ini dapat dipergunakan untuk meningkatkan hasil pembakaran, khususnya pembakaran *pembangkit listrik tenaga thermal*.

Depok, Juli 2008

Penulis,



OMBUN SIHOMBING

NPM : 06 06 00 3000

**ANALISIS PENGARUH SUDUT PENGARAH INJEKSI UDARA
TERHADAP PANJANG NYALA API DIFUSI BAHAN BAKAR ROPANA
PADA BURNER GAS TIPE "EJECTED COMBUSTOR"**

ABSTRAK

Sistem pembakaran yang umum digunakan di industri-industri adalah sistem pembakaran difusi dengan pertimbangan keamanan dan keandalan, namun penelitian nyala api difusi kurang mendapat perhatian dibandingkan nyala api *premix*. Energi hasil pembakaran nyala api difusi erat kaitannya dengan panjang nyala api difusi yang dihasilkan. Panjang nyala api difusi dipengaruhi oleh jumlah dan arah semburan udara. Jika jumlah suplai udara lebih besar dari kebutuhan stokiometri, nyala api difusi akan *overventilated* yang mengakibatkan sejumlah bahan bakar terlepas bersama gas hasil pembakaran. Disisi lain, jika lebih kecil dari kebutuhan pembakaran sempurna, nyala api difusi akan *underventilated* yang mengakibatkan sejumlah energi panas terlepas bersama udara. Pada proses pembakaran difusi, terjadi fenomena *lifted flame*, hal ini mempengaruhi keandalan dan efisiensi sistem pembakaran. Jika jarak *lifted flame* terlalu jauh dari ujung nozel maka panjang nyala api difusi berkurang mengakibatkan kecepatan pemanasan semburan bahan bakar berkurang, bila terlalu dekat/menempel pada ujung nozel akan mengakibatkan kerusakan nozel karena beban temperatur tinggi dari nyala api difusi.

Dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan pengaruh variasi sudut ring pengarah udara injeksi terhadap panjang nyala api difusi bahan bakar propana meliputi jarak *lifted flame*, tinggi nyala api dan temperatur ujung nozel. Variasi sudut ring pengarah udara injeksi yang digunakan 0°, 15°, 30°, 45°, 60° dan 75°. Aliran propana diperbesar secara bertahap hingga nyala api mencapai kondisi *liftoff*. Pada kondisi *liftoff*, udara di-injeksikan secara bertahap. Setiap perubahan laju aliran propane atau udara injeksi, nyala api difusi diamati dan *di-capture* menggunakan kamera video.

Pada nyala api difusi kondisi *liftoff* diperoleh *Reynolds number* propane 8.619, jarak *lifted flame* 105,4 mm, panjang nyala api difusi 344,6 mm dan *burning velocity* 239,2 mm/dtk. Dengan menggunakan ring pengarah injeksi udara sudut 45° dan *Reynolds number* campuran udara-propana 6.482 s/d 6.513 diperoleh jarak *lifted flame* menjadi sebesar 65,4 mm, panjang nyala api difusi menjadi 410,3 mm, kecepatan pembakaran menjadi 290,64 mm/dtk dan temperatur ujung nozel dari 52,4°C menjadi 54,6°C.

Kata Kunci : Nyala api difusi, *lifted flame* dan *liftoff*

OMBN SIHOMBING
NPM 06 06 00 3000
Mechanical Engineering
Departement

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

**ANALYSIS OF DIRECTOR ANGLES INFLUENCE OF INJECTION AIR
TO DIFFUSION COMBUSTION FLAME LENGTH OF PROPANE FUEL
WITH "EJECTED COMBUSTORS" TYPE**

ABSTRACT

Generally, the combustion system is applied at industries is diffusion combustion system with safety and reliability reasons, eventhough the research of diffusion flame get attention is less than premix flame. Energy that is produced by diffusion flame related to the diffusion flame length. The diffusion flame length is affected by amount and jets direction of air. If air supply is more than sthoiciometric needed, diffusion flame will be overventilated that cause an amount of fuel releases with exhaust gas. On the other side if air supply is insufficient for sthoiciometric, diffusion flame will be underventilated that cause an amount of heat realese with air. At diffusion combustion process occur lifted flame phenomena. This thing influences efficiency and reliability of combustion system. If lifted flame too far from nozzle tip so that diffusion flame length decrease which give effect of heating velocity decreasing of fuel jet, when too near from nozzle tip will cause damage to nozzle due to high temperature load of diffusion flame.

At this research was observased influence of angles variation of injection air director rings to propane diffusion flame length consist of lifted flame, diffusion flame high and nozzle tip temperature. The angel variations of air director rings were used 0° , 15° , 30° , 45° , 60° and 75° . Flow rate of propane increase in step by step to achieve liftoff condition. At condition liftoff, air is injected regularly. Every flow rate change of propane and air injection, diffusion flame is observed and it is captured by camera-video.

At diffusion flame of liftoff condition is reached Reynolds number of propane is 8,619, lifted flame distance is 105.4 mm, diffusion flame length is 344.6 cm and burning velocity is 239.2 cm/s. Using air director ring of angle 45° and at Reynolds number of air-propane mixture 6,482 to 6,513 obtained lifted flame distance reduce to 65.4 mm, diffusion flame length becomes 410.3 mm, burning velocity becomes 290.64 cm/s and nozzle tip temperature from 52.4°C to be 54.6°C .

Keywords: Diffusion flame, lifted flame and liftoff.

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN PUBLIKASI	i
PERNYATAAN KEASLIAN THESIS	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
DAFTAR ISTILAH	xvii
DAFTAR SIMBOL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	3
1.3 MANFAAT PENELITIAN	4
1.4 RUMUSAN MASALAH	4
1.5 BATASAN MASALAH	4
1.6 SISTEMATIK PENELITIAN	5
1.7 METODE PENELITIAN	6
1.8 PERALATAN YANG DIBUTUHKAN	8
1.9 JADWAL KEGIATAN PENELITIAN	8
1.10. SISTEMATIK PENULISAN	9
BAB II LANDASAN TEORI	10
2.1 SEJARAH PEMBAKARAN	10
2.2 RUANG LINGKUP PEMBAKARAN	11
2.3 STOKIOMETRI PEMBAKARAN	11
2.4 KLASIFIKASI NYALA API SECARA UMUM	13

2.5 NYALA API DIFUSI BAHAN BAKAR GAS	13
2.6 PANJANG NYALA API DIFUSI	14
2.6.1 Beban Pembakaran (<i>Burning Load</i>)	15
2.6.2 <i>Lifted Flame</i>	15
2.6.3 Tinggi Nyala api Difusi	17
2.6.3.1 <i>Nyala Api Difusi Laminar</i>	19
2.6.3.2 <i>Nyala api Difusi Turbulen</i>	21
2.7 POLA ALIRAN SEMBURAN UDARA–BAHAN BAKARNYALA API DIFUSI	24
2.7.1 Semburan Aliran Menyilang (<i>Confined Transverse Jet</i>)	25
2.7.2 Semburan Aliran Membujur (<i>Confined Longitudinal Jet</i>)	25
2.8 <i>PROFILE</i> TEMPERATUR	27
2.9 KECEPATAN PEMBAKARAN (<i>BURNING VELOCITY</i>)	30
2.9.1 Kecepatan Pembakaran Laminar	30
2.9.2 Kecepatan Pembakaran Turbulen	31
2.10 ANALISIS KECEPATAN DAN <i>REYNOLDS NUMBER</i> CAMPURAN UDARA-PROPANA	33
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 PERALATAN DAN BAHAN YANG DIGUNAKAN	35
3.2 SKEMA PENELITIAN	37
3.2.1 Penelitian Tahap Pertama	38
3.2.2 Penelitian Tahap Kedua	39
3.3 DATA PENYETARAAN PEMBACAAN ALAT UKUR <i>FLOWMETER</i>	39
3.3.1 <i>Flowmeter</i> Bahan Bakar (Rotameter)	39
3.3.2 <i>Flowmeter</i> Udara	40
3.4 DATA PENELITIAN	42
3.4.1 Penelitian Tahap Pertama (Tanpa Injeksi Udara)	43
3.4.2 Penelitian Tahap Kedua (Dengan Injeksi Udara)	43
3.4.2.1 <i>Menggunakan Ring 0°</i>	43
3.4.2.2 <i>Menggunakan Ring 15°</i>	44
3.4.2.3 <i>Menggunakan Ring 30°</i>	45

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Metode penelitian	6
Gambar 2.1 <i>Overventilated</i> dan <i>underventilated</i> nyala api difusi	14
Gambar 2.2 Nyala api difusi bahan bakar propana	14
Gambar 2.3 Skematik nyala api difusi (a) <i>free jet</i> (b) <i>confined jet</i>	16
Gambar 2.4 Tinggi nyala api difusi laminar dan turbulen (<i>experimental H.C. Hottel dan W.R. Hawthorne</i>)	17
Gambar 2.5 Skematik eksperimen pengukuran panjang nyala api	23
Gambar 2.6 Pola aliran semburan meyilang (<i>transverse flow jet</i>)	25
Gambar 2.7 Pola aliran semburan membujur (<i>longitudinal flow jet</i>)	25
Gambar 2.8 Peralatan untuk menghasilkan nyala api difusi semburan <i>logitudinal</i>	26
Gambar 2.9 Pola aliran semburan logitudinal	26
Gambar 2.10 <i>Profile</i> temperatur dan konsentrasi aliran bahan bakar	27
Gambar 2.11 Prediksi ketebalan <i>preheat zone</i> berdasarkan <i>profile</i> temperatur	29
Gambar 2.12 <i>Profile</i> temperatur <i>propane</i> -udara	30
Gambar 2.13 Pengaruh <i>Reynolds number</i> terhadap kecepatan pembakaran	32
Gambar 2.14 <i>Flame front conical</i>	32
Gambar 3.1 Peralatan dan bahan utama yang digunakan	36
Gambar 3.2 a. Skema nozel-ring pengarah udara b. Skema aliran udara-bahan bakar	37
Gambar 3.3 Skema peralatan penelitian	38
Gambar 3.4 Penyetaraan pembacaan <i>rotameter</i> untuk propana	40
Gambar 3.5 Penyetaraan pembacaan <i>flowmeter</i> udara	41
Gambar 3.6 Nyala api difusi bahan bakar propana tanpa injeksi udara	42
Gambar 3.7 Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 0°	43
Gambar 3.8 Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 15°	44

4.4.4 Korelasi Re_{mix} Terhadap L_f/d_{mix} Pada <i>Excess Air</i> = 101,35%	79
4.5. KOEFISIEN KETEPATAN KORELASI Re_{mix} TERHADAP L_f/d_{mix} .	80
4.6 TEMPERATUR UJUNG NOZEL	85
4.7 KECEPATAN PEMBAKARAN	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	90
5.1 KESIMPULAN	91
5.1.1 Penelitian Tahap Pertama (Tanpa Injeksi udara)	91
5.1.2 Penelitian Tahap Kedua (Dengan Injeksi udara)	91
5.2 SARAN	93
DAFTAR ACUAN	94
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN	98



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Metode penelitian	6
Gambar 2.1 <i>Overventilated</i> dan <i>underventilated</i> nyala api difusi	14
Gambar 2.2 Nyala api difusi bahan bakar propana	14
Gambar 2.3 Skematik nyala api difusi (a) <i>free jet</i> (b) <i>confined jet</i>	16
Gambar 2.4 Tinggi nyala api difusi laminar dan turbulen (<i>experimental</i> H.C. Hottel dan W.R. Hawthorne)	17
Gambar 2.5 Skematik eksperimen pengukuran panjang nyala api	23
Gambar 2.6 Pola aliran semburan meyilang (<i>transverse flow jet</i>)	25
Gambar 2.7 Pola aliran semburan membujur (<i>longitudinal flow jet</i>)	25
Gambar 2.8 Peralatan untuk menghasilkan nyala api difusi semburan <i>logitudinal</i>	26
Gambar 2.9 Pola aliran semburan logitudinal	26
Gambar 2.10 <i>Profile</i> temperatur dan konsentrasi aliran bahan bakar	27
Gambar 2.11 Prediksi ketebalan <i>preheat zone</i> berdasarkan <i>profile</i> temperatur	29
Gambar 2.12 <i>Profile</i> temperatur <i>propane</i> -udara	30
Gambar 2.13 Pengaruh <i>Reynolds number</i> terhadap kecepatan pembakaran	32
Gambar 2.14 <i>Flame front conical</i>	32
Gambar 3.1 Peralatan dan bahan utama yang digunakan	36
Gambar 3.2 a. Skema nozel-ring pengarah udara b. Skema aliran udara-bahan bakar	37
Gambar 3.3 Skema peralatan penelitian	38
Gambar 3.4 Penyetaraan pembacaan <i>rotameter</i> untuk propana	40
Gambar 3.5 Penyetaraan pembacaan <i>flowmeter</i> udara	41
Gambar 3.6 Nyala api difusi bahan bakar propana tanpa injeksi udara	42
Gambar 3.7 Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 0°	43
Gambar 3.8 Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 15°	44

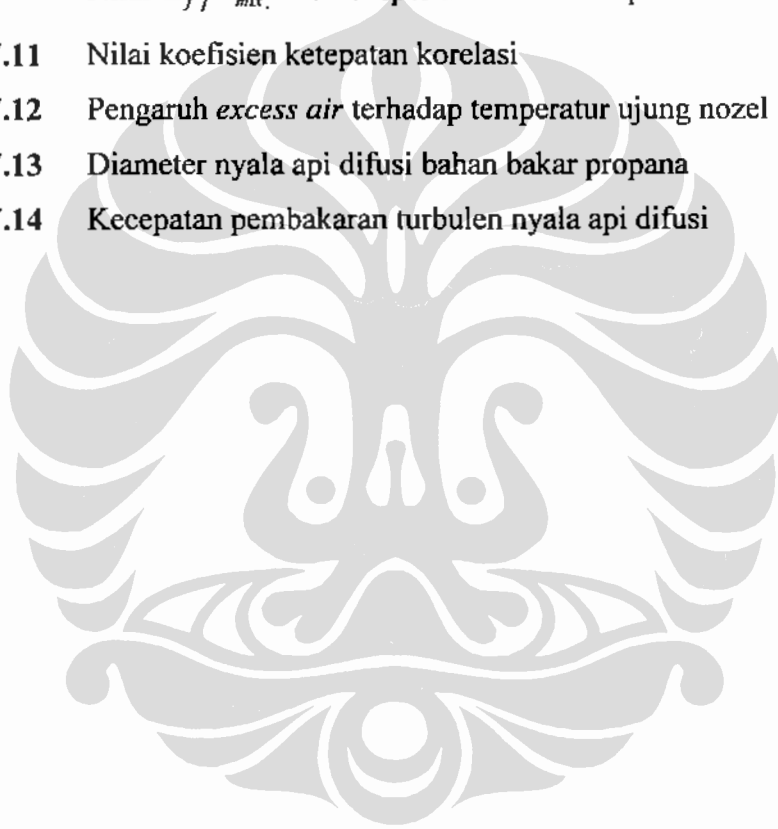
Gambar 3.9	Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 30°	45
Gambar 3.10	Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 45°	46
Gambar 3.11	Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 60°	47
Gambar 3.12	Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 75°	48
Gambar 4.1	Metode untuk menentukan titik <i>lifted flame</i> dan panjang nyala api menggunakan <i>software adobe photoshop</i> .	51
Gambar 4.2	Pencitraan RGB total pada sumbu horizontal <i>lifted flame</i>	52
Gambar 4.3	Pencitraan RGB total pada sumbu horizontal tinggi nyala api difusi.	53
Gambar 4.4	Pencitraan RGB total terhadap sumbu vertikal nyala api difusi.	54
Gambar 4.5	Pengaruh <i>Reynolds number</i> terhadap nyala api difusi tanpa injeksi udara.	56
Gambar 4.6	Pengaruh <i>Reynolds number</i> terhadap nyala api difusi bahan bakar propana tanpa injeksi udara.	57
Gambar 4.7	Pengaruh $Re_{f,i}$ terhadap <i>lifted flame</i> .	58
Gambar 4.8	Pengaruh $Re_{f,i}$ terhadap temperatur ujung nozel.	59
Gambar 4.9	Pengaruh $Re_{a,i}$ terhadap <i>lifted flame</i> .	63
Gambar 4.10	Pengaruh $Re_{a,i}$ terhadap tinggi nyala api difusi.	64
Gambar 4.11	Pengaruh $Re_{a,i}$ terhadap panjang nyala api difusi.	64
Gambar 4.12	Pengaruh AFR terhadap panjang nyala api difusi.	66
Gambar 4.13	Proses pencampuran udara-propana pada <i>burner gas tipe ejected combustor</i> .	67
Gambar 4.14	Pengaruh sudut ring pengarah udara, d_{mix} , dan x_{mix} . udara-propana terhadap panjang nyala api difusi.	68
Gambar 4.15	Diameter dan sudut injeksi ring pengarah udara serta nozel.	70
Gambar 4.16	Trigonometri sudut injeksi ring pengarah udara dan nozel.	70
Gambar 4.17	Pengaruh sudut pengarah udara terhadap Re_{mix} .	75
Gambar 4.18	Pengaruh Re_{mix} terhadap <i>lifted flame</i> menggunakan ring pengarah udara sudut 45°.	76

Gambar 4.19	Pengaruh Re_{mix} terhadap panjang nyala api difusi menggunakan ring pengarah udara sudut 45° .	76
Gambar 4.20	Korelasi Re_{mix} terhadap L_f/d_{mix} pada <i>excess air</i> = 101,14%	77
Gambar 4.21	Korelasi L_f/d_{mix} terhadap Re_{mix} pada <i>excess air</i> = 101,21%	78
Gambar 4.22	Korelasi L_f/d_{mix} terhadap Re_{mix} pada <i>excess air</i> = 101,28%	79
Gambar 4.23	Korelasi L_f/d_{mix} terhadap Re_{mix} pada <i>excess air</i> = 101,35%	79
Gambar 4.24	L_f/d_{mix} hasil eksperimen dan hasil prediksi <i>excess air</i> = 101,14%	83
Gambar 4.25	L_f/d_{mix} hasil eksperimen dan hasil prediksi <i>excess air</i> = 101,21%	84
Gambar 4.26	L_f/d_{mix} hasil eksperimen dan hasil prediksi <i>excess air</i> = 101,95%	84
Gambar 4.27	L_f/d_{mix} hasil eksperimen dan hasil prediksi <i>excess air</i> = 101,35%	85
Gambar 4.28	Pengaruh <i>excess air</i> terhadap temperatur ujung nozel.	86
Gambar 4.29	Sudut pengarah udara dan <i>excess air</i> terhadap kecepatan pembakaran.	88

DAFTAR TABEL

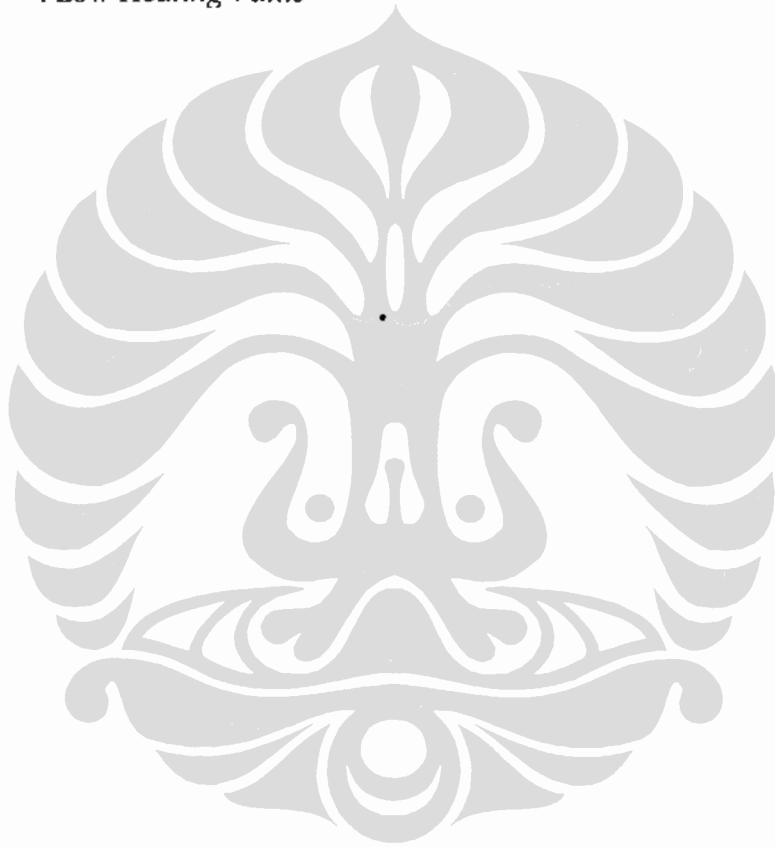
Tabel I.1	Peralatan yang dibutuhkan	8
Tabel I.2	Jadwal kegiatan penelitian	8
Tabel II.1	<i>Reynolds number</i> nozel kritis (transisi) untuk berbagai bahan bakar nyala api difusi (<i>Hottel dan Hawthorne</i>)	19
Tabel II.2	Nilai \bar{H}_f/d , untuk berbagai bahan bakar gas	23
Tabel III.1	Penyetaraan pembacaan <i>rotameter</i> bahan bakar propana	39
Tabel III.2	Data pembacaan <i>flowmeter</i> udara	41
Tabel III.3	Laju aliran propana dan temperatur ujung nozel temperatur ujung nozel nyala api difusi tanpa injeksi udara	43
Tabel III.4	Laju aliran <i>volume</i> propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 0°	44
Tabel III.5	Laju aliran <i>volume</i> propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 15°	45
Tabel III.6	Laju aliran <i>volume</i> propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 30°	46
Tabel III.7	Laju aliran <i>volume</i> propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 45°	47
Tabel III.8	Laju aliran <i>volume</i> propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 60°	48
Tabel III.9	Laju aliran <i>volume</i> propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 75°	49
Tabel III.10	Kondisi lingkungan saat penelitian dilakukan	49
Tabel IV.1	Panjang nyala api difusi tanpa injeksi udara dan <i>Reynolds number</i> propana pada ujung nozel	56
Tabel IV.2	Parameter nyala api difusi kondisi awal <i>liftoff</i>	61
Tabel IV.3	Propertis nyala api difusi bahan bakar propana dengan injeksi udara dengan berbagai sudut udara dengan berbagai sudut	62
Tabel IV.4	Diameter, tinggi percampuran udara-propana	68

Tabel IV.5	Pengaruh sudut ring pengarah udara terhadap d_{mix} , x_{mix} dan panjang nyala api difusi	69
Tabel IV.6	Sudut percampuran udara-propana	71
Tabel IV.7	Propertis campuran udara-propana	73
Tabel IV.8	Nilai Φ_{ij} dan $\sum_{j=1}^n \chi_i \Phi_{i,j}$	73
Tabel IV.9	Pengaruh <i>Reynolds number</i> campuran udara-propana, Re_{mix} terhadap jarak <i>lifted flame</i> dan panjang nyala api difusi	74
Tabel IV.10	Nilai L_f/d_{mix} , hasil eksperimen dan hasil prediksi	81
Tabel IV.11	Nilai koefisien ketepatan korelasi	81
Tabel IV.12	Pengaruh <i>excess air</i> terhadap temperatur ujung nozel	85
Tabel IV.13	Diameter nyala api difusi bahan bakar propana	87
Tabel IV.14	Kecepatan pembakaran turbulen nyala api difusi	88



DAFTAR SINGKATAN

AFR	: <i>Air Fuel Ratio</i>
FAR	: <i>Fuel Air Ratio</i>
fps	: <i>frame per second</i>
RGB	: <i>Red Green Blue</i>
LHV	: <i>Low Heating Value</i>



DAFTAR ISTILAH

Istilah	Keterangan
Nyala api	: Reaksi pembakaran yang dapat merambat sendiri dengan kecepatan subsonic melalui suatu ruang rambat dan menghasilkan energi panas (thermal).
Nyala api difusi	: Bahan Bakar dan oksidator secara terpisah (tidak dicampur) memasuki daerah reaksi.
<i>Lifted flame</i>	: Phenomena posisi pangkal nyala api difusi berada pada jarak tertentu dari ujung nozel.
<i>Liftoff</i>	: Kondisi jarak <i>lifted flame</i> , tinggi dan panjang nyala api difusi berada pada keadaan konstan.
<i>Blowoff</i>	: Suatu keadaan dimana nyala api difusi padam disebabkan kecepatan rata-rata bahan bakar/oksidator lebih besar dari kecepatan pembakaran.
<i>Excess air</i>	: Udara yang diberikan untuk pembakaran dalam jumlah yang lebih besar dari jumlah teoritis yang dibutuhkan oleh bahan bakar.
<i>Laminar burning velocity</i>	: <i>Volume gas unburned</i> dikonsumsi per unit waktu dibagi luas pangkal nyala api difusi.
<i>Turbulen burning velocity</i>	: Hasil perkalian <i>laminar burning velocity</i> terhadap <i>ratio cone</i> nyala api difusi dibagi dengan luas area pangkal nyala api difusi.

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
\bar{L}_f	: Panjang nyala api difusi	mm
\bar{H}_f	: Tinggi rata-rata nyala api difusi	mm
x_f	: Jarak <i>lifted flame</i> (mm)	mm
α	: Sudut ring pengarah udara injeksi	°
β	: Sudut sembur nozel	°
γ	: Sudut campuran udara-propana	°
$Re_{f,i}$: <i>Reynolds number bahan bakar</i> pada nozel	
$Re_{a,r}$: <i>Reynolds number udara</i> pada ring pengarah udara	
$u_{f,i}$: Kecepatan bahan bakar pada nozel	m/dtk
$u_{a,r}$: Kecepatan udara pada ring pengarah udara	m/dtk
u_{mix}	: Kecepatan campuran udara-propana	m/dtk
u_{pf}	: Kecepatan proyeksi bahan bakar terhadap sumbu <i>axis</i> nozel	m/dtk
u_{pa}	: Kecepatan proyeksi udara terhadap sumbu <i>axis</i> nozel	m/dtk
d_i, d_{IR}	: Diameter dalam nozel	mm
d_{ON}	: Diameter luar nozel	mm
d_{IR}	: Diameter dalam ring pengarah udara	mm
d_{OR}	: Diameter luar ring pengarah udara	mm
d_{mix}	: Diameter campuran udara-propana	mm
d_{bur}	: Diameter <i>barrel burner</i>	mm
d_f	: Diameter nyala api difusi	mm
d_d	: diameter tabung bagian luar (anulus)	mm
x_{ma}	: Tinggi campuran udara-propana	mm
ν_f	: Viskositas propana.	m ² /dtk
ν_a	: Viskositas udara	m ² /dtk

ν_{max}	: Viskositan campuran udara-propana	m^2/dtk
ν_i	: Viskositas <i>species i</i>	m^2/dtk
ν_j	: Viskositas <i>species j</i>	m^2/dtk
n	: Jumlah <i>species</i> dalam campuran	
χ_i	: Farksi mol <i>species i</i>	
χ_j	: Farksi mol <i>species j</i>	
M_i	: Berat molekul <i>species i</i>	
M_j	: Berat molekul <i>species j</i>	
f	: Faktor gesekan	
T_f	: Temperatur adiabatik nyala api difusi	$^{\circ}C$
T_i	: Temperatur bahan bakar pada <i>burner nozel</i>	$^{\circ}C$
M_O	: Berat molekul Oksigen	
M_F	: Berat Molekul bahan bakar	
M_P	: Berat molekul produk pembakaran	
\dot{m}_f	: Laju massa aliran bahan bakar	kg/dtk
\dot{m}_o	: Laju massa aliran udara	kg/dtk
U	: Kecepatan elemen gas	m/dtk
Q_f	: Laju aliran volume bahan bakar	dm^3/dtk
Q_o	: Laju aliran volume udara	dm^3/dtk
ξ	: <i>Displacement</i> molekul	
D	: Koefisien difusivitas	
a_o	: Ratio mole udara terhadap mol bahan bakar pada nozel	
C	: Fraksi mol gas	
C_m	: Nilai C sepanjang sumbu <i>axis</i>	
C_f	: Nilai C pada ujung nyala api difusi laminar	
t	: Waktu (<i>time</i>)	dtk
θ	: Parameter <i>dimensionless</i>	

θ_f	: Parameter <i>dimensionless</i> pada ujung nyala api difusi	
C_f	: Nilai C pada ujung nyala api difusi turbulen	
R	: Ratio stokiometri udara-bahan bakar	
ρ_c	: Densiti bahan bakar gas	kg/m ³
ρ_f	: Density nyala api	kg/m ³
S_L	: Kecepatan pembakaran laminar	cm/dtk
S_T	: Kecepatan pembakaran turbulen	cm/dtk
A_{FF}	: Luas permukaan <i>flame front</i>	m ²
A_c	: Luas <i>cone</i> nyala api difusi	m ²
S	: Kemiringan nyala api.	mm
T_i	: Temperatur <i>ignition</i>	°C
T_u	: Temperatur <i>unburned</i>	°C
T_b	: Temperatur <i>burned</i>	°C
η_o	: Ketebalan <i>preheat zone</i>	mm
h_{cg}	: Tinggi <i>cover glass</i>	mm
$\phi_{in\ cg}$: Diameter dalam <i>cover glass</i>	mm
$\phi_{out\ cg}$: Diameter luar <i>cover glass</i>	mm
T_{un}	: Temperatur ujung nozel	°C