PENGARUH VARIASI DIAMETER DISC BLUFF BODY TERHADAP KESTABILAN NYALA DAN DISTRIBUSI **TEMPERATUR PADA API DIFUSI ANNULUS JET**

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

AKBAR BINATHARA BACHTIAR NIM. 0210620008-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN MALANG 2007

PENGARUH VARIASI DIAMETER *DISC BLUFF BODY* TERHADAP KESTABILAN NYALA DAN DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA API DIFUSI *ANNULUS JET*

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

AKBAR BINATHARA BACHTIAR NIM. 0210620008-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

WIJAL.

Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT. NIP. 131 756 003 Mega Nur Sasongko, ST., MT. NIP. 132 283 660

repository.ub.ac.id

PENGARUH VARIASI DIAMETER *DISC BLUFF BODY* TERHADAP KESTABILAN NYALA DAN DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA API DIFUSI *ANNULUS JET*

Disusun oleh :

AKBAR BINATHARA BACHTIAR NIM. 0210620080-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal 8 Agustus 2007

DOSEN PENGUJI

SKRIPSI I

SKRIPSI II

Ir. Djarot B. Darmadi, MT. NIP. 132 125 714 Ir. I Made Gunadiarta, MT. NIP. 130 604 495

KOMPREHENSIF

Ir. Pratikto, M.MT. NIP. 130 928 864

Mengetahui : Ketua Jurusan Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. NIP. 132 159 708

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul "Pengaruh Variasi Diameter *Disc Bluff Body* terhadap Kestabilan Nyala dan Distribusi Temperatur pada Api Difusi *Annulus Jet*" dapat terselesaikan.

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada:

- 1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin.
- 2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Se.CSE, selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
- Bapak Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng. Sc, selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin.
- 4. Bapak Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan masukan serta meluangkan waktu untuk berdiskusi bersama penyusun dalam menyusun skripsi ini.
- 5. Bapak Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan dalam menyusun skripsi ini.
- 6. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin.
- 7. Teman-teman bersama se-penelitian,Habib,Ririn dan Syamsuddin serta temanteman angkatan 2002 dan semua Civitas Keluarga Besar Mesin Brawijaya.
- 8. Semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat serta doa dalam penyelesaian skripsi ini.

Penyusun menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Tidak ada yang sempurna dalam setiap karya manusia, tapi justru itulah yang membuat manusia berpikir untuk menghasilkan karya yang lebih baik. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Agustus 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

		Halamar
KATA	PENGANTAR	AS Pc El
DAFTA	R ISI	ii
DAFTA	AR TABEL	iv
DAFTA	AR GAMBAR DAN GRAFIK	v
DAFTA	AR LAMPIRAN	vii
DAFTA	AR NOTASI DAN SIMBOL	viii
RINGK	CASAN TAS PD	ix
BAB I	PENDAHULUAN SALAS BRAZ	1
1.1.	Latar Belakang	1
1.2.	Rumusan Masalah	2
1.3.	Batasan Masalah	2
1.4.	Tujuan Penelitian	3
1.5.	Manfaat Penelitian	3
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1.	Penelitian-penelitian terdahulu	4
2.2.	Pembakaran	4
2.3.	Reaksi Kimia pada Proses Pembakaran	5
2.4.	Proses Pembakaran Gas	9
2.5.	Pembakaran Difusi	10
2.6.	Aliran Turbulen	13
2.7.	Kestabilan Api	14
2.8.	Stabilitas Nyala Api dengan Disc Bluff Body	15
2.9.	LPG (Liquified Petroleum Gas)	18
2.10	. Hipotesis	19
BAB II	I METODE PENELITIAN	20
3.1.	Metode Penelitian	20
3.2.	Variabel yang Diukur	20
3.3.	Alat-alat yang Digunakan	20
3.4.	Instalasi Penelitian	23

	3.5.	Metode	e Pengambilan Data	24
	3.6.	Ranca	ngan Pengolahan Data	26
	3.7.	Diagra	m Alir Penelitian	26
BA	B IV	PENG	OLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN	28
	4.1.	Hasil P	enelitian	28
		4.1.1.	Kestabilan nyala api difusi annulus jet	28
			4.1.1.1. Data penelitian	28
			4.1.1.2. Perhitungan data	28
			4.1.1.3. Visualisasi api	30
		4.1.2.	Distribusi temperatur api difusi annulus jet	30
			4.1.2.1. Data penelitian	30
			4.1.2.2. Kalibrasi temperatur	30
	4.2.	Analisa		31
		4.2.1.	Grafik kestabilan api difusi annulus jet	31
		4.2.2.	Visualisasi api difusi annulus jet	34
		4.2.3.	Distribusi temperatur api difusi annulus jet	37
			4.2.3.1. Distribusi temperatur berdasar diameter	37
			Disc Bluff Body	
			4.2.3.2. Distribusi temperatur berdasar jarak aksial	41
		4.2.4.	Fluktuasi temperatur api difusi annulus jet	45
	4.3.	Pembah	asan	46
BA	B V	PENUT		48
	5.1	Kesimp	ulan Ha Li I Ha	48
	5.2	Saran	0.0.0	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halamar
Tabel 2.1	Komposisi udara kering	S Brand S



DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Reaksi yang terjadi pada api	7
Gambar 2.2.	Pembakaran difusi sederhana	10
Gambar 2.3.	Perubahan aliran dan struktur api	11
Gambar 2.4.	Skema <i>lift off</i> pada api difusi <i>jet</i>	12
Gambar 2.5.	Gelombang pembakaran laminer dan turbulen	12
Gambar 2.6.	Aliran yang bersifat laminer (a), transisi (b) dan turbulen (c)	13
Gambar 2.7.	Skema diagram dari perambatan pembakaran stasioner satu dimer	nsi 14
Gambar 2.8.	Jenis profil api	14
Gambar 2.9.	Pemasangan Disc bluff body pada annulus udara	15
Gambar 2.10.	Aliran Udara di Sekitar Disc Bluff Body	16
Gambar 2.11.	Efek scale of turbulence pada permukaan nyala	17
Gambar 2.12.	Gambaran penampang permukaan nyala api turbulen	17
Gambar 3.1.	Bentuk Penampang Disc bluff body yang digunakan	22
Gambar 3.2.	Skema Annulus	22
Gambar 3.3.	Skema instalasi penelitian	24
Gambar 3.4.	Distribusi temperatur api difusi annulus jet	25
Gambar 3.5.	Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4.1.	Hubungan antara tegangan (mV) dengan Temperatur (⁰ C)	31
Gambar 4.2.	Grafik kestabilan api difusi annulus jet	32
Gambar 4.3.	Visualisasi api pada berbagai variasi pemasangan Disc bluff body	34
	$U = 0,2122 \text{ m.s}^{-1}, v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$	
Gambar 4.4.	Visualisasi api pada berbagai variasi pemasangan Disc bluff body	34
	$U = 0,4090 \text{ m.s}^{-1}, v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$	
Gambar 4.5.	Visualisasi api lift off pada berbagai variasi diameter Disc bluff be	ody 35
Gambar 4.6.	Visualisasi api lift off pada berbagai variasi diameter Disc bluff bo	ody 35
Gambar 4.7.	Grafik distribusi temperatur pada berbagai variasi pemasangan Di	isc 38
	<i>bluff body</i> , $U = 0,2122 \text{ m.s}^{-1}$, $v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$	
Gambar 4.8.	Grafik distribusi temperatur pada berbagai variasi pemasangan Di	isc 40
	<i>bluff body</i> , $U = 0,4090 \text{ m.s}^{-1}$, $v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$	

1

INERS

BRAWIUAL

DAFTAR LAMPIRAN

No.

Judul

Lampiran 1	Perhitungan massa jenis, A/F _{stoikiometri} , HHV dan LHV LPG
Lampiran 2	Data hasil penelitian dengan tanpa disc bluff body
Lampiran 3	Data hasil penelitian dengan diameter disc bluff body 20 mm
Lampiran 4	Data hasil penelitian dengan diameter disc bluff body 30 mm
Lampiran 5	Data hasil penelitian dengan diameter disc bluff body 40 mm
Lampiran 6	Data kecepatan dan massa alir dengan tanpa Disc bluff body
Lampiran 7	Data kecepatan dan massa alir dengan Disc bluff body 20 mm
Lampiran 8	Data kecepatan dan massa alir dengan Disc bluff body 30 mm
Lampiran 9	Data kecepatan dan massa alir dengan Disc bluff body 40 mm
Lampiran 10	Fluktuasi temperatur api difusi <i>annulus jet</i> dengan tanpa pemasangan <i>Disc bluff body</i> pada $y = 30 \text{ mm}$, $y = 90 \text{ mm}$ dan $y = 150 \text{ mm}$, $U = 0.2122 \text{ m.s}^{-1}$, $v = 1.187 \text{ m.s}^{-1}$
Lampiran 11	Fluktuasi temperatur api difusi <i>annulus jet</i> dengan tanpa pemasangan <i>Disc bluff body</i> pada $y = 30 \text{ mm}$, $y = 90 \text{ mm}$ dan $y = 150 \text{ mm}$, $U = 0,4090 \text{ m.s}^{-1}$, $v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$
Lampiran 12	Fluktuasi temperatur api difusi <i>annulus jet</i> dengan pemasangan <i>Disc</i> <i>bluff body</i> 20 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm, U = 0.2122 m.s^{-1} , y = 1.187 m.s^{-1}
Lampiran 13	Fluktuasi temperatur api difusi <i>annulus jet</i> dengan pemasangan <i>Disc</i> <i>bluff body</i> 20 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm, U = 0.4090 m.s^{-1} , y = 1.187 m.s^{-1}
Lampiran 14	Fluktuasi temperatur api difusi <i>annulus jet</i> dengan pemasangan <i>Disc</i> <i>bluff body</i> 30 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm, U = $0,2122 \text{ m.s}^{-1}, \text{ y} = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$
Lampiran 15	Fluktuasi temperatur api difusi <i>annulus jet</i> dengan pemasangan <i>Disc</i> <i>bluff body</i> 30 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm, U = $0,4090 \text{ m.s}^{-1}$, v = $1,187 \text{ m.s}^{-1}$
Lampiran 16	Fluktuasi temperatur api difusi <i>annulus jet</i> dengan pemasangan <i>Disc</i> <i>bluff body</i> 40 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm, U = $0,2122 \text{ m.s}^{-1}$, y = $1,187 \text{ m.s}^{-1}$
Lampiran 17	Fluktuasi temperatur api difusi <i>annulus jet</i> dengan pemasangan <i>Disc</i> <i>bluff body</i> 30 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm, U = $0,4090 \text{ m.s}^{-1}$, v = $1,187 \text{ m.s}^{-1}$
Lampiran 18	Harga faktor koreksi C untuk orifis udara aksial
Lampiran 19	Harga faktor koreksi C untuk orifis bahan bakar

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Besaran dasar	Satuan	Simbol
Faktor kelebihan udara	REATAR	λ
Equivalence ratio	IV FIFER21	Φ
Bilangan Reynold		Re
Kecepatan udara aksial	m.s ⁻¹	U
Kecepatan aliran bahan bakar	m.s ⁻¹	v
Luasan annulus	m ²	A _{annulus}
Jari-jari lingkaran luar	B b m	R
Jari-jari lingkaran dalam	m	r
Phi		π
Nilai rata-rata keseluruhan data	_	X
Jumlah data) 😌 –	n
Data ke i		\mathbf{X}_{i}
Massa jenis bahan bakar	kg.m ⁻³	$ ho_{bb}$
Massa jenis udara	kg.m ⁻³	ho ud
Massa jenis minyak tanah	kg.m ⁻³	ρ_{m}
Massa jenis raksa	kg.m ⁻³	$\rho_{\rm Hg}$
Beda ketinggian pada manometer	19 mm	Δh
Percepatan grafitasi bumi	m.s ⁻²	g
Rasio diameter orifis dan diameter saluran	hi ient	β
Diameter pipa bahan bakar	m	D_{bb}
Diameter pipa udara	U St m	D_{ud}
Diameter dalam orifis bahan bakar	m	d_{bb}
Diameter dalam orifis udara	m	d _{ud}
Luas pipa bahan bakar	m ²	A _{bb}
Luas pipa udara aksial	m ²	A _{ud}
Faktor koreksi	ATTRACE	С
Damkohler number	STV E-YERS	Da
High Heating Value	kcal.kg ⁻¹	HHV
Lower Heating Value	kcal.kg ⁻¹	LHV
Konstanta Boltzman	W.m ⁻² .K ⁻⁴	k

RINGKASAN

Akbar Binathara Bachtiar, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2007, Pengaruh Variasi Diameter *Disc Bluff Body* terhadap Kestabilan Nyala dan Distribusi Temperatur pada Api Difusi Annulus Jet. Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT. dan Mega Nur Sasongko, ST., MT.

Pembakaran difusi secara luas digunakan pada sistem pembakaran di industri. Salah satu metode yang digunakan untuk menciptakan turbulensi ialah dengan cara memasang *Disc bluff body* pada *annulus* udara. Aliran udara yang terhalang *Disc bluff body* ini akan membentuk pusaran-pusaran (*vortex*), sehingga intensitas resirkulasi semakin meningkat, dimana pada kondisi ini pencampuran bahan bakar dan udara semakin homogen, yang berakibat pembakaran lebih sempurna dan kestabilan api yang lebih baik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter *Disc bluff body* pada *annulus* udara yang paling optimal sebagai usaha peningkatan kestabilan nyala dan distribusi temperatur api difusi *jet*.

Instalasi penelitian terdiri dari beberapa komponen utama yang meliputi tabung LPG sebagai catu bahan bakar, *blower* sebagai catu aliran udara aksial, *burner* sebagai tempat terjadinya reaksi pembakaran dan *annulus* sebagai saluran untuk mengalirkan udara aksial, serta *Disc bluff body* diletakan pada ujung pipa bahan bakar dan berada pada *burner exit plane*. Variabel bebas yang digunakan adalah tanpa pemasangan *Disc bluff body*, diameter *disc* 20 mm, 30 mm, dan 40 mm, kecepatan udara aksial divariasikan dari $0 \div 0.5$ [m.s⁻¹] dan kecepatan aliran bahan bakar juga divariasikan antara $0 \div 18$ [m.s⁻¹]. Pengambilan data kestabilan diamati secara langsung, kemudian data terjadinya *lift off* dan *blow off* dicatat dan diplot dalam grafik kestabilan api. Pengambilan data temperatur dilakukan dengan menggunakan *thermocouples* yang dikuatkan oleh *Operational Amplifier*, selanjutnya data diubah dari data analog ke data digital dengan meggunakan *Analog to Digital Converter*. Pengukuran temperatur hanya dilakukan pada kecepatan aliran bahan bakar konstan yaitu 7,121 [m.s⁻¹].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar diameter *Disc bluff body* yang dipasang pada *annulus* udara mengakibatkan kestabilan nyala pada api difusi *annulus jet* semakin meningkat dan distribusi temperatur semakin terdistribusi secara merata ke arah horisontal.Daerah kestabilan api difusi terbesar dan distribusi temperatur ke arah horisontal yang paling merata diperoleh pada pemasangan *Disc bluff body* dengan diameter 40 mm. Dari data temperatur terlihat bahwa fluktuasi temperatur yang paling kecil cenderung terjadi pada tengah api.

Keywords : pembakaran, Disc bluff body, vortex, kestabilan api.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri, pembakaran merupakan salah satu proses yang sangat penting dalam bidang rekayasa seperti halnya industri maupun transportasi. Pembakaran adalah suatu reaksi kimia, yaitu reaksi oksidasi yang berlangsung pada suhu tinggi, berjalan dengan cepat dan disertai dengan pelepasan sejumlah kalor. Proses ini berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia menjadi energi kalor yang dapat langsung digunakan atau dikonversikan lagi menjadi energi lain.

Salah satu jenis pembakaran ialah pembakaran difusi, yaitu proses pembakaran antara bahan bakar dan udara, dimana keduanya tidak bercampur dulu secara mekanik melainkan bercampur sendiri secara alami. Proses pembakaran difusi dapat dilihat pada berbagai proses pembakaran seperti nyala lilin, api korek api dan api kebakaran. Proses pembakaran difusi saat ini telah digunakan secara luas pada semua aspek industri.

Kestabilan nyala merupakan hal yang penting dalam proses pembakaran difusi. Hal ini dapat terjadi jika bahan bakar dan udara bercampur secara homogen. Salah satu cara *mixing* bahan bakar dan udara agar dapat bercampur secara homogen adalah dengan menciptakan efek turbulensi pada aliran udara sehingga dapat diperoleh suatu proses pembakaran yang efektif dan efisien.

Kestabilan api pembakaran juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara. Kecepatan aliran udara sangat berpengaruh terhadap luasan zona resirkulasi. Dengan peningkatan kecepatan aliran udara akan menyebabkan zona resirkulasi mengalami peningkatan luasan. Menurut Raman V. (2005), hal itu disebabkan karena kecepatan aliran udara yang besar menyebabkan timbulnya suatu kondisi *chaos* yang menyebabkan terjadinya fenomena terjadinya pusaran. Adanya pusaran-pusaran tersebut akan meningkatkan turbulensi, sehingga proses pencampuran bahan bakar dan udara pembakaran semakin baik. Peningkatan efisiensi pada pembakaran dapat dilakukan dengan cara mengganggu kestabilan struktur aliran pada suatu aliran fluida, karena dengan terganggunya kestabilan aliran tersebut maka akan dapat membantu terciptanya efek turbulensi. Diharapkan dengan adanya efek turbulensi tersebut pembakaran akan mendekati proses pembakaran yang lebih sempurna Secara mekanik, turbulensi dapat dibangkitkan dengan cara memasang sebuah penghalang pada sebuah aliran yaitu *bluff body*. *Bluff body* tersebut dipasang pada aliran udara aksial dari *burner*. Bentuk geometris yang digunakan ialah *disc bluff body* yang berupa sebuah plat lingkaran. Pemasangan *bluff body* ini dimaksudkan untuk menimbulkan efek resirkulasi yang dihasilkan oleh *blower*, sehingga campuran bahan bakar dan udara semakin homogen dan mengakibatkan proses pembakaran mendekati sempurna. Berdasarkan uraian tersebut maka perlu diadakan suatu penelitian mengenai pengaruh berbagai variasi diameter *disc bluff body* terhadap kestabilan nyala dan distribusi temperatur pada api difusi *Annulus jet*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

Bagaimanakah pengaruh berbagai variasi diameter *disc bluff body* terhadap kestabilan nyala dan distribusi temperatur pada api difusi *Annulus jet* ? Hasil yang didapatkan dibandingkan dengan kasus tanpa pemasangan *disc bluff body*.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian untuk menjawab rumusan masalah di atas, karena luasnya objek kajian, maka penelitian ini membatasi diri pada hal-hal sebagai berikut :

- 1. Disc bluff body ditempatkan pada ujung nosel bahan bakar dan berada pada Burner exit plane.
- 2. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar *Liquified Petroleum Gas* (LPG) produksi Pertamina.
- 3. Nosel bahan bakar yang digunakan berdiameter 2 mm.
- 4. Aliran udara dan bahan bakar, serta kerugian panas yang terjadi selama proses pembakaran dianggap *steady state*.
- 5. Jumlah sensor yang digunakan untuk mengukur temperatur adalah 3 buah.
- 6. Variasi diameter *Disc bluff body* yang digunakan ialah 0, 20, 30, dan 40 mm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh berbagai variasi diameter *disc bluff body* pada *annulus* udara yang paling optimal sebagai usaha peningkatan kestabilan nyala dan distribusi temperatur api difusi *jet*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

- 1. Mampu menerapkan teori-teori yang telah didapat selama perkuliahan terutama mengenai teori pembakaran.
- 2. Memberikan kontribusi terhadap dunia industri yang berhubungan dengan aerodinamika pembakaran pada pembakaran difusi.
- 3. Menghemat penggunaan sumber energi bahan bakar fosil dengan pembakaran yang mendekati sempurna.
- 4. Dapat meningkatkan khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi terutama tentang teknologi pembakaran dengan penambahan *disc bluff body* pada pembakaran difusi.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian-penelitian Terdahulu

Sudjana, A. (2001) melakukan penelitian mengenai pengaruh kecepatan udara pembakaran terhadap terbakarnya bahan bakar pada awal pembakaran. Cara meningkatkan turbulensi ialah dengan memasang benda penghalang berupa *bluff body* dengan model *disc* atau cakram. Dengan adanya penghalang, pada aliran udara akan timbul pusaran atau *vortex* di sekitar *bluff body*. Tempat terjadinya pusaran terbesar menjadi tempat terbaik bagi terjadinya difusi dua fluida. Semakin dekat *bluff body* dengan mulut nosel sampai jarak tertentu maka pencampurannya akan semakin baik. Kesimpulan yang didapat yaitu kecepatan udara mempengaruhi penyalaan, kondisi tersulit ialah jika kecepatan udara sama dengan kecepatan bahan bakar yang ditandai dengan waktu penyalaan yang sama, walaupun digunakan jumlah udara dan bahan bakar yang cukup. Kondisi termudah jika kecepatan bahan bakar beda dengan kecepatan udara, ditandai dengan waktu penyalaan yang tepat.

Bahawan, J. (2002) melakukan penelitian tentang pengaruh dimensi *disc bluff body* terhadap waktu penyalaan pada awal pembakaran. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa semakin besar dimensi dari *bluff body*, maka akan terjadi potensial tekanan yang akan semakin besar. Semakin besar dimensi *bluff body* menyebabkan pusaran (*vortex*) yang besar.

Saputro, D. (2006) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi bentuk geometri *bluff body* terhadap temperatur pada proses pembakaran difusi. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa semakin besar sudut *bluff body* yang dipasang pada *annulus* udara mengakibatkan kestabilan nyala pada api difusi semakin menurun. Daerah kestabilan api difusi *annulus jet* terbesar diperoleh pada pemasangan *bluff body* dengan sudut 0° .

2.2 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi oksidasi yang terjadi antara bahan bakar dan udara (oksigen) dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor (Turns, 1996: 6). Energi tersebut berfungsi sebagai pemutus ikatan-ikatan bahan bakar menjadi radikal (ion) dan sangat reaktif. Ion-ion bahan bakar akan bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan yang lebih kuat dan kelebihan-kelebihan energi ikatan akan dilepas ke dalam sistem, sehingga menyebabkan kenaikan temperatur yang sangat tinggi.

Persamaan reaksi pembakaran secara umum dituliskan sebagai berikut (Wijayanti, 2003: 1):

Bahan bakar + Oksidator (O₂) \longrightarrow Produk pembakaran (2–1) (reaktan)

Pemasangan *disc bluff body* pada aliran udara akan menyebabkan terjadinya ketidakstabilan pada reaktan yang berpengaruh juga terhadap produk pembakaran. Produk pembakaran yang diamati dalam penelitian ini adalah kestabilan nyala dan temperatur api difusi *annulus jet*.

2.3. Reaksi Kimia pada Proses Pembakaran

Pembakaran ideal adalah pembakaran yang dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna. Kondisi ini disebut dengan kondisi stoikiometri dimana produk pembakaran untuk senyawa hidrokarbon adalah CO₂, H₂O, dan N₂ sebagai *inert* gas. Pembahasan akan dibatasi pada proses pembakaran antara bahan bakar hidrokarbon dan oksigen dari udara. Komposisi dari udara dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Komposisi udara kering

Ungur / ganyawa	Persentase	Persentase	Berat molekul
Olisui / seliyawa	volume (%)	berat (%)	Lb per mole
Oksigen (O ₂)	20.99	23.19	32.00
Nitrogen (N_2)	78.03	75.47	28.016
Argon (Ar)	0.94	1.30	39.944
Karbon dioksida (CO ₂)	0.03	0.04	44.003
Hidrogen (H ₂)	0.01	0.00	2.016
Udara kering	100.00	100.00	28.967

Sumber : Tjokroawidjojo, 1986 : 47

Untuk perhitungan dalam reaksi pembakaran, udara dianggap terdiri dari 21% volume O₂ dan 79% volume N₂, sehingga untuk penggunaan 1 mol O₂ akan melibatkan

penggunaan
$$\left(\frac{79,0}{21,0}\right) = 3,76 \text{ mol } N_2$$

Untuk memenuhi pembakaran sempurna, semua C bereaksi menjadi CO_2 dan semua H₂ akan bereaksi menjadi H₂O. Reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar (C_xH_y) dengan udara secara matematis dituliskan sebagai berikut (Wardana, 1995: 21):

$$C_{x}H_{y} + \left(x + \frac{1}{4}y\right)(O_{2} + 3,76 N_{2}) \rightarrow x CO_{2} + \left(\frac{1}{2}y\right)H_{2}O + \left(x + \frac{1}{4}y\right)(3,76) N_{2}$$
 (2-2)

Dalam persamaan tersebut digunakan jumlah udara minimum yang biasa disebut dengan "udara teoritis". Akan tetapi, dalam kondisi aktual pembakaran sempurna hampir tidak pernah terjadi karena pembakaran berlangsung secara kompleks. Pembakaran tidak hanya tergantung pada model ruang bakarnya tetapi juga tergantung kondisi dari bahan bakar, udara dan temperatur pembakarannya. Salah satu cara untuk memperbesar kemungkinan terjadinya pembakaran sempurna adalah dengan menggunakan jumlah udara berlebih (*excess air*). Apabila digunakan udara pembakaran sebanyak λ x jumlah udara teoritis, persamaan reaksinya akan menjadi:

$$C_{x}H_{y} + (\lambda \left(x + \frac{1}{4}y\right)O_{2} + 3,76N_{2}) \to xCO_{2} + \left(\frac{1}{2}y\right)H_{2}O + (\lambda \left(x + \frac{1}{4}y\right)O_{3},76N_{2} + (\lambda \left(x + \frac{1}{4}y\right)O_{2})$$
(2-3)

dengan:

- λ = faktor kelebihan udara
- $\lambda = 1$, apabila dipergunakan udara teoritis
- $\lambda > 1$, apabila dipergunakan udara berlebih
- $\lambda < 1$, apabila kekurangan udara

Penggunaan udara berlebih tersebut memerlukan sebuah parameter untuk menyatakan banyaknya udara pembakaran tiap satuan kuantitas bahan bakar. Parameter tersebut adalah *air-to-fuel ratio* (AFR). AFR dapat dinyatakan dalam mol udara per mol bahan bakar atau massa udara per massa bahan bakar, seperti terlihat pada persamaan berikut:

$$(AFR)_{\text{teoritis}} = \left(\frac{m_{\text{udara}}}{m_{\text{bahan bakar}}}\right)_{\text{teoritis}} \left(\frac{\text{kg udara}}{\text{kg bahan bakar}}\right)$$
(Turns, 1996: 19) (2-4)

Pada pembakaran stoikiometri dengan bahan bakar LPG *Mix* 70% propana dan 30% butana nilai AFRnya adalah 15,567.

Perbandingan antara $(AFR)_{teoritis}$ dengan AFR_{aktual} dinyatakan dengan equivalence-ratio (Φ), sebagai berikut:

$$\Phi = \frac{\left(A_{F}\right)_{\text{teoritis}}}{\left(A_{F}\right)_{\text{aktual}}} = \frac{1}{\lambda}$$
(Turns, 1996: 19) (2-5)

dengan:

- $\Phi > 1$, apabila campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixtures*)
- $\Phi < 1$, apabila campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixtures*)
- $\Phi = 1$, apabila campuran stoikiometri

Pada semua proses pembakaran, diusahakan terjadi pembakaran yang sempurna. Untuk memperoleh hal ini, ada empat syarat yang harus dipenuhi, yaitu :

- 1. Bahan bakar menguap secara efisien
- 2. Digunakan cukup udara pembakaran
- 3. Terjadi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara
- 4. Suhu pembakaran cukup tinggi

Apabila syarat-syarat diatas tidak terpenuhi, maka akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Reaksi pembakaran yang tidak sempurna misalnya seperti dibawah ini:

$$C + \frac{1}{2}O_2 \to CO \tag{2-6}$$

$$2H_2 + \frac{1}{2}O_2 \to H_2O + H_2$$
 (2-7)

Pada reaksi pembakaran di atas terlihat bahwa hasil pembakarannya tidak sempurna, dikarenakan pada reaksi pembakaran (2-6) menghasilkan CO dan pada reaksi pembakaran (2-7) masih tertinggal H₂. Pada proses pembakaran yang sempurna seluruh bahan bakar akan teroksidasi, seperti halnya reaksi pembakaran di bawah ini :



Gambar 2.1 : Reaksi yang terjadi pada api Sumber : Kuo, 1986: 348

Pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa bahan bakar dan oksigen yang mampu menembus dari batas nyala api sangat kecil dan hasil ini menunjukkan reaksi kimia hanya dapat diselesaikan pada daerah batas dan daerah permukaan api. Dimana diperkirakan sebagai daerah permukaan adalah bahan bakar dan oksigen yang masuk dalam proporsi stoikiometri.

Campuran yang terlalu kaya bahan bakar atau miskin udara akan membuat pembakaran menjadi tidak sempurna dan akan menghasilkan sejumlah gas yang tidak diinginkan seperti CO pada gas buangnya dan menyebabkan kerugian panas yang cukup tinggi. Sehingga kebanyakan dari suatu proses pembakaran harus ditambahkan sejumlah udara pembakaran lagi agar semua bahan bakar dapat bereaksi secara sempurna dengan udara.

Salah satu keuntungan dari proses pembakaran adalah dapat memperoleh energi yang cepat dengan adanya reaksi kimia pembakaran yang berlangsung sangat cepat. Oleh karena itu peningkatan kecepatan reaksi pembakaran merupakan faktor penting di dalam pembakaran. Hal-hal yang dilakukan untuk meningkatkan kecepatan reaksi pembakaran :

- a. Membuat aliran turbulen untuk pengadukan bahan bakar dan udara
- b. Memperluas daerah kontak reaksi antara bahan bakar dan udara
- c. Meningkatkan temperatur pembakaran

Pembakaran terjadi melalui serangkaian reaksi yang cepat dan berkelanjutan yang dikenal sebagai reaksi rantai. Pada dasarnya, reaksi rantai pada proses pembakaran hidrokarbon meliputi:

- 1. Proses pencampuran bahan bakar dengan udara/oksigen
- 2. Pemutusan ikatan senyawa hidrokarbon menjadi radikal bebas yang tidak stabil.
- 3. Oksidasi radikal bebas sehingga membentuk produk pembakaran.

Radikal bebas diperlukan untuk menjaga agar proses pembakaran terus berjalan. Proses pembakaran pada dasarnya merupakan reaksi kimia dan penyebab terjadinya reaksi kimia adalah keinginan suatu atom untuk mencapai posisi stabil. Oleh karena itu, reaksi kimia diawali dari ketidakstabilan. *Disc bluff body* akan mengakibatkan bertambahnya radikal bebas yang merupakan atom tidak stabil, sehingga radikal bebas tersebut akan bertindak sebagai agen yang menyebabkan molekul lain yang masih stabil menjadi tidak stabil. Radikal bebas ini bekerja terus menerus, sehingga seluruh bahan bakar habis terbakar. Semakin banyak radikal bebas, maka reaksi kimia antara bahan bakar dan udara juga akan semakin cepat, sehingga pembakaran akan semakin mendekati sempurna.

2.4. Proses Pembakaran Gas

Proses pembakaran gas terjadi lebih cepat daripada fase cair atau padat karena fase gas memiliki jarak antar atom yang lebih besar daripada kedua fase lainnya sehingga percampuran antara bahan bakar dan udara dapat terjadi dengan lebih baik. Pembakaran terjadi pada fase uap (kecuali untuk unsur karbon). Fase uap pada dasarnya sama dengan fase gas, ditinjau dari jarak antar partikelnya. Fase cair dan fase padat harus lebih dahulu menjadi gas sebelum benar-benar terbakar, sedangkan bahan bakar pada fase gas tidak perlu lagi bertransformasi menjadi fase lainnya. Hal ini menjadi dasar bagi batasan masalah penelitian ini. Proses pembakaran pada bahan bakar gas dapat terjadi melalui salah satu atau kombinasi dari ketiga proses di bawah ini (Tjokroawidjojo, 1996: 39):

a. Homogeneous combustion

Pembakaran ini terjadi pada suhu rendah sekitar 400°C dan seringkali pada pembakaran ini tidak menunjukkan adanya *flame front*. Kecepatan reaksinya terutama tergantung pada susunan campuran, tekanan, temperatur awal dari campuran dan tergantung pada faktor perpindahan panas dari atau ke sekelilingnya.

b. Isopiestic flame propagation

Merupakan salah satu bentuk pembakaran dimana nyala yang timbul pada reaksi pembakaran memberikan temperatur yang tinggi hingga pembakaran dapat berjalan dengan sendirinya. Pada pembakaran ini tidak terjadi kenaikan tekanan karena adanya kenaikan volume gas, sehingga dapat dikatakan bahwa gas melakukan ekspansi bebas. Pembakaran ini biasa dijumpai dalam praktek.

c. Pressure temperature flame propagation

Pembakaran ini menimbulkan nyala yang membangkitkan suhu yang tinggi sehingga pembakaran dapat terjadi dengan sendirinya. Pada pembakaran ini tidak terjadi kenaikan volume karena adanya kenaikan tekanan gas.

Pembakaran yang dapat diamati dengan adanya nyala merupakan pembakaran *isopiestic flame propagation* dan *pressure temperature flame propagation*. Pada kenyataannya, kedua jenis pembakaran yang menimbulkan nyala tersebut adalah pembakaran yang digunakan di dunia industri, sebab kedua jenis pembakaran itulah yang dapat memberikan atau membangkitkan suhu tinggi yang merupakan tujuan dari proses pembakaran di industri. Pembakaran homogen hanyalah pembakaran yang terkondisikan dan dapat dibuat di laboratorium, namun tidak untuk kepentingan komersil.

repository.ub.ac.id

Proses pembakaran dengan menggunakan bahan bakar gas sering menggunakan peralatan yang disebut *gas burner*. Pada sistem pembakaran ini sering menggunakan peralatan tambahan yang disebut dengan *oxygen addition equipment*. Tujuan digunakannya peralatan ini adalah untuk memperbaiki kinerja proses pembakaran. Dengan meningkatnya kinerja dari proses pembakaran maka akan diperoleh penurunan nilai *specific fuel consumption*, sehingga jika ditinjau dari segi ekonomis berarti kita mampu menekan biaya pembelian bahan bakar.

2.5. Pembakaran Difusi

Pembakaran difusi adalah pembakaran antara bahan bakar dan udara yang tidak bercampur lebih dulu secara mekanik, melainkan bercampur sendiri secara alami dengan proses difusi. Jika pencampuran bahan bakar dan udara dengan proses difusi ini mencapai kondisi stoikiometri, dan temperatur sudah cukup maka pembakaran akan berlangsung. Proses pembakaran difusi sederhana dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



Pada sisi saluran sebelah kiri mengalir pengoksidasi (udara) sedangkan sisi saluran sebelah kanan mengalir bahan bakar. Bidang pembatas antara bahan bakar dan udara setelah keluar dari saluran merupakan bidang difusi dimana api terbentuk. Pembakaran difusi tersebut dapat dilihat pada berbagai proses pembakaran seperti nyala lilin, api korek api, api kebakaran, pembakaran di industri, pembakaran di turbin gas dan lain sebagainya. Salah satu jenis api akibat dari pembakaran difusi adalah api difusi *jet* adalah api difusi yang terjadi karena aliran *jet* bahan bakar dari nosel ke dalam aliran udara pada *burner*. Nyala api difusi *jet* terdiri dari api difusi *jet* laminer

dan api difusi jet turbulen.

Gambar 2.3 menjelaskan tentang perubahan aliran api difusi *jet* laminer ke api difusi *jet* turbulen .Perubahan aliran api tersebut disebabkan oleh pemanjangan api dan peningkatan kecepatan aliran (*jet*) bahan bakar. Peningkatan kecepatan bahan bakar mengakibatkan karakter api berubah. Pada kecepatan *jet* bahan bakar yang rendah, struktur api adalah laminer. Panjang api laminer tersebut akan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan *jet* bahan bakarnya sampai pada suatu batas aliran api menjadi turbulen. Pada kondisi transisi terjadi perubahan dari aliran laminer menjadi turbulen. Panjang api laminer akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kecepatan *jet* bahan bakarnya, kemudian panjang api total akan menurun karena kecepatan pengadukan api yang turbulen.



Gambar 2.3 : Perubahan aliran dan struktur api Sumber : Kuo, 1986: 359

Batas kestabilan api pada umumnya menjelaskan batas operasional dari sistem pembakaran. Pada penelitian ini terdapat dua kondisi aliran batas yang berhubungan dengan kestabilan api difusi, yaitu *lift off* dan *blow off*. Kondisi kritis kestabilan ini sangat tergantung pada konfigurasi alirannya. Pada aliran *jet* bahan bakar berkecepatan rendah, kondisi api adalah laminer, kemudian bila kecepatan aliran ditingkatkan, aliran akan berada pada kondisi turbulen.

Kondisi *lift off* pada penelitian ini didefinisikan sebagai suatu kondisi api yang terjadi saat api mulai tidak menempel pada mulut nosel (Gambar 2.4). Hal ini terjadi karena kecepatan api lebih kecil dari kecepatan gas reaktan, sehingga api akan bergerak menjauhi mulut nosel.



Panjang *lift off* adalah jarak antara mulut nosel dan pangkal api. Panjang *lift off* akan meningkat seiring dengan penambahan kecepatan *jet* bahan bakar sampai api mengalami *blow off* (kondisi api menjadi padam setelah mengalami *lift off*). *Blow off* dapat terjadi bila api difusi telah melewati batas kritis *lift off*. Baik *lift off* maupun *blow off* merupakan kondisi yang harus dihindari dalam proses pembakaran.

Pemasangan *disc bluff body* pada aliran udara akan menghasilkan suatu aliran yang bersirkulasi, sehingga akan berpengaruh terhadap kecepatan gas reaktan. Hal ini akan merubah rambatan gelombang pembakaran stasioner dari laminer menjadi turbulen (Gambar 2.5), sehingga bidang kontak antar reaktan menjadi semakin luas, akibatnya batas *lift off* dan *blow off* akan mengalami peningkatan. Semakin besar aliran yang bersirkulasi, maka reaksi yang terjadi antara bahan bakar dan udara juga semakin baik, akibatnya luasan daerah kestabilan api juga akan semakin bertambah atau bisa dikatakan kestabilan api mengalami peningkatan.



BRAWIJAYA

2.6. Aliran Turbulen

Aliran Turbulen ialah suatu jenis aliran yang garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Pada aliran laminer garis alirnya tidak berpotongan, seolah-olah ada suatu lapisan fluida diatas fluida. Teori tentang aliran ini sangat sulit, namun analisa secara data eksperimen dapat digunakan sebagai acuan tentang turbulensi.

Pada gambar 2.6 memperlihatkan aliran yang bersifat laminer, transisi dan turbulen :



Gambar 2.6 : Aliran yang bersifat laminer (a), transisi (b) dan turbulen (c) Sumber : White, 1994: 291

Aliran turbulen sangat potensial menyebabkan terjadinya pencampuran antar partikel fluida dari berbagai garis alir. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Misalkan ada dua fluida yang mengalir pada satu tempat (*locus*). Jika aliran tersebut bersifat laminer maka antar partikel fluidanya akan terbentuk semacam lapisan (*layer*) menurut garis alirnya. Karena garis alirnya tidak berpotongan, antar partikel fluida tidak saling berinteraksi sehingga tidak ada pencampuran mekanis diantara kedua fluida tersebut. Pada aliran turbulen, garis alirnya saling berpotongan sehingga lapisan-lapisan fluida seperti yang terdapat pada aliran laminer tidak ada. Akan terjadi interaksi antar partikel fluida sehingga terjadi pencampuran mekanis antara kedua fluida tersebut. Pada penelitian ini, dengan adanya *disc bluff body* diharapkan terjadinya turbulensi yang mengakibatkan pencampuran mekanis antara kedua fluida tersebut semakin baik yang akan berpengaruh pada kestabilan api.

2.7. Kestabilan Api

Pada proses pembakaran, kestabilan api memegang peranan yang sangat penting. Api dikatakan stabil apabila terjadi api stasioner pada kedudukan tertentu,

repository.ub.ac.ic

dimana kecepatan gas reaktan sama dengan kecepatan produk, dalam hal ini rambatan api. Hal ini tentu saja akan mempengaruhi aliran udara yang terbentuk disekitar api tersebut seperti terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 : Skema diagram dari perambatan pembakaran stasioner satu dimensi Sumber : Kuo, 1986 : 233

Jika kecepatan reaktan lebih kecil daripada kecepatan produk maka api akan bergerak ke mulut nosel dan kejadian ini disebut *flash back*. Jika kecepatan reaktan lebih besar daripada kecepatan produk maka api akan bergerak menjauh dari mulut nosel dan kejadian ini disebut *blow off*. *Flame stretch* atau pemanjangan api terjadi akibat efek *blow off* yaitu kecepatan reaktan yang lebih cepat dari kecepatan pembakaran dan juga akibat gradien kecepatan dalam aliran terlalu besar yang mengakibatkan hilang panas dan laju reaksi menurun.



Kondisi pembakaran yang stabil akan terjadi jika garis kecepatan gas reaktan menyinggung garis kecepatan pembakaran di dua titik seperti ditunjukkan gambar 2.8 (d). Jika garis kecepatan reaktan tidak memotong garis kecepatan pembakaran, maka akan terjadi *blow off* yang ditunjukkan pada gambar 2.8 (b). Pada kondisi lain jika garis

kecepatan gas reaktan memotong garis kecepatan pembakaran di dua titik, yaitu kondisi dimana kecepatan gas reaktan lebih rendah daripada kecepatan pembakaran, maka akan terjadi peristiwa *flash back* ditunjukkan pada gambar 2.8 (a). Peristiwa ini merupakan rambatan dengan kecepatan yang tinggi menuju mulut nosel.

Pada saat terjadi *blow off* telah dijelaskan bahwa api akan menjauhi nosel terlebih dahulu kemudian mati. Pada saat itu aliran udara yang terbentuk disekitar api akan berbeda karena api terbentuk di atas nosel, panas yang semakin hilang dan laju reaksi yang semakin menurun.

2.8. Stabilitas Nyala Api Dengan Disc Bluff Body

Disc bluff body adalah alat yang diletakkan pada aliran udara yang dihasilkan dari blower. *Disc bluff body* ditempatkan pada *annulus* udara yang akan menimbulkan pusaran pada aliran udara. Pemasangan *disc bluff body* ditunjukan pada Gambar 2.9 berikut :



Gambar 2.9 Pemasangan disc bluff body pada annulus udara

Sumber: Monnot, 1985:87

Disc bluff body dipergunakan dalam pembakaran untuk meningkatkan kestabilan api. Setelah melewati *disc bluff body*, aliran udara akan membentuk zona resirkulasi (Gambar 2.10) yang mengakibatkan proses pencampuran bahan bakar dan udara semakin homogen. Karena itu, akan terjadi aliran udara yang dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.10 Aliran Udara di Sekitar Disc Bluff Body Sumber. Monnot, 1985: 88

Selain itu, *disc bluff body* akan mengakibatkan terjadinya perbedaan kecepatan dan arah gerakan udara yang melewatinya. Perbedaan tersebut mengakibatkan terjadinya batas gesekan (*shear layer*) antara aliran resirkulasi dan daerah utama. Pada permukaan gesekan tersebut terjadi perpindahan panas dari gas panas (campuran bahan bakar dan udara yang sedang terbakar) ke gas dingin (bahan bakar), sehingga bahan bakar akan mengalami pemanasan awal. Adanya pemanasan awal mengakibatkan terjadinya penambahan energi pada molekul-molekul bahan bakar, selanjutnya energi kinetik molekul-molekul akan meningkat. Hal ini mengakibatkan molekul-molekul yang bereaksi menjadi lebih aktif mengadakan tumbukan, sehingga pembakaran akan semakin baik seperti dinyatakan oleh Kuo (1986) bahwa semakin tinggi temperatur awal maka kecepatan pembakaran juga akan meningkat.

Berbagai variasi diameter *disc bluff body* akan sangat berpengaruh terhadap struktur permukaan nyala seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11 sebagai berikut:



Gambar 2.11 Efek *scale of turbulence* pada permukaan nyala Sumber: Kuo,1986:418

Pada 2300 \leq Re \leq 6000, terjadi olakan-olakan kecil (*small eddies*), sehingga turbulensi terjadi pada skala yang baik (Kuo, 1986 : 406). Pada *small eddies* ukuran pusaran (*eddy size*) lebih kecil dari ketebalan permukaan nyala (*flame front thickness*). Efek yang ditimbulkan adalah meningkatkan proses transpor dalam gelombang pembakaran. Ketika Re \geq 6000, terjadi *large eddies* yang menyebabkan ketebalan permukaan nyala lebih besar dari pada saat kondisi laminar. *Large eddies* tidak meningkatkan difusivitas seperti yang terjadi pada *small eddies*, tetapi sebaliknya akan merubah permukaan nyala (Gambar 2.12). Hal ini akan meningkatkan daerah permukaan nyala untuk setiap unit penampang melintang pada *tube*, akibatnya terjadi peningkatan kecepatan pembakaran tanpa terjadi perubahan pada struktur api lokal.



Gambar 2.12 Gambaran penampang permukaan nyala api turbulen Sumber: Kuo,1986:407

Semakin besar diameter *disc bluff body* maka kecepatan tangensial udara akan semakin besar, sehingga akan meningkatkan *shear flow*. Peningkatan *shear flow* akan meningkatkan intensitas turbulensi. Intensitas turbulensi yang semakin besar mengakibatkan kecepatan aksial menurun pada zona resirkulasi. Hal ini memungkinkan kecepatan reaksi dan kecepatan aliran dapat seimbang atau bahkan kecepatan reaksinya justru menjadi lebih besar. Akan tetapi hal ini bisa terjadi sebaliknya karena terlalu besar kecepatan tangensial yang ditimbulkan maka akan terjadi penurunan kecepatan aksial yang cukup besar sehingga membawa aliran udara tangensial menuju kearah keluar dan memungkinkan penurunan kecepatan reaksi pembakaran serta menurunkan proses difusi yang terjadi antara bahan bakar dan udara. Ketika pencampuran antara bahan bakar dan udara semakin baik maka *damkohler number* menjadi lebih besar, yang berarti waktu yang tersedia untuk mengalir (*characteristic flow time*).

2.9. LPG (Liquified Petroleum Gas)

LPG dihasilkan melalui proses pengolahan gas alam dan gas minyak bumi di instalasi pencairan dan pemisahan (*Gas Liquid Extraction Plant*). Proses produksi LPG diawali oleh pembersihan gas alam dari berbagai kotoran. Selanjutnya gas yang sudah bersih dikeringkan, lalu didinginkan sehingga menjadi cair. Gas yang sudah cair ini dipisahkan dengan proses *physico-chemical* di instalasi pemisahan berturut-turut mengeluarkan senyawa methana (CH₄), ethana (C₂H₆), propana (C₃H₈), butana (C₄H₁₀) dan seterusnya. LPG merupakan suatu senyawa hidrokarbon dengan karbon yang rendah dan termasuk senyawa hidrokarbon jenuh (*alkane*). LPG bisa dibuat dari senyawa propana (*propane*), butana (*butane*) atau campuran keduanya dengan perbandingan tertentu. Berdasarkan penggunaannya, LPG dibedakan menjadi (<u>www.pertamina.com</u>, September 2006):

1. LPG Mix

Merupakan campuran propana dan butana dengan komposisi 70% volume propana dan 30% volume butana dan ditambahkan zat odor yaitu *mercaptant*, yang berbau menyengat. Biasanya digunakan sebagai bahan bakar di rumah tangga.

2. LPG Propane

Terdiri dari 95% propana dan ditambahkan zat odor yaitu *mercaptant*, yang berbau menyengat.

3. LPG Butane

Terdiri dari 97.5% butana dan ditambahkan zat odor yaitu *mercaptant*, yang berbau menyengat. LPG propana dan LPG butana biasanya digunakan sebagai bahan bakar di industri.

Dalam penelitian ini bahan bakar yang digunakan adalah LPG (*Liquified Petroleum Gas*) *Mix* produksi Pertamina dengan komposisi 70 % volume propana dan 30% volume butana.

2.10. Hipotesis

Pada laju aliran yang sama dari udara aksial, dengan diameter *disc bluff body* yang lebih besar akan menimbulkan pusaran (*vortex*) yang semakin besar sehingga menyebabkan resirkulasi dan intensitas turbulensi pada aliran udara semakin meningkat, lalu campuran bahan bakar dan udara akan menjadi lebih homogen, hal ini akan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna, akibatnya kestabilan nyala dan distribusi temperatur pada api difusi *jet* akan meningkat.



BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Setelah pengambilan data dilakukan, diperoleh data dari masing – masing variasi penelitian, yaitu berupa kecepatan aliran udara dan kecepatan aliran bahan bakar yang diukur dengan manometer melalui *orifice*. Dengan prinsip beda tekanan pada penampang saluran akibat melalui *orifice*, maka dapat kita tentukan kecepatan aliran dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan *Bernoulli*. Data temperatur diukur dengan menggunakan *thermocouples* yang dihubungkan dengan *operational amplifier* dan *analog to digital converter* dengan bantuan komputer. Data kecepatan aliran udara aksial dan bahan bakar diplot dalam grafik kestabilan api (pada sumbu x – y), sedangkan dari data temperatur ditentukan nilai temperatur rata-rata sehingga diketahui distribusi temperatur ke arah horisontal dan arah vertikal. Pada tiap titik pengamatan diperoleh data fluktuasi temperatur.

4.1.1. Kestabilan nyala api difusi *annulus jet* 4.1.1.1. Data penelitian

Data yang diperoleh merupakan nilai rata-rata setelah dilakukan pengulangan pengambilan data sebanyak 5 (lima) kali. Data yang diperoleh (lampiran 2 sampai dengan lampiran 9) adalah data kestabilan nyala api difusi *annulus jet* tanpa pemasangan *Disc bluff body* dan dengan berbagai variasi diameter *Disc bluff body*.

4.1.1.2. Perhitungan data

Perhitungan untuk massa alir bahan bakar (m_{bahan bakar}) dan udara (m_{udara}).

- Diketahui : ρ_{bb} = massa jenis bahan bakar = 2,009 kg.m⁻³
 - ρ_{ud} = massa jenis udara = 1,208 kg.m⁻³
 - $\rho_{\rm m}$ = massa jenis minyak tanah = 835 kg.m⁻³
 - ρ_{Hg} = massa jenis raksa = 13.600 kg.m⁻³
 - Δh = beda ketinggian pada manometer (mm)
 - g = percepatan grafitasi bumi = $9,81 \text{ m.s}^{-2}$
 - β = rasio diameter orifis dan diameter saluran

repository.ub.ac.id

D _{bb}	= diameter pipa bahan bakar = 0,01 m
\mathbf{D}_{ud}	= diameter pipa udara = 0,06 m
d _{bb}	= diameter dalam orifis bahan bakar = 0,004 m
d _{ud}	= diameter dalam orifis udara = 0,02 m
A_{bb}	= luas pipa bahan bakar = $7,850.10^{-5}$ m ²
A_{ud}	= luas pipa udara aksial = $2,826.10^{-3}$ m ²

Contoh perhitungan data untuk data tanpa pemasangan *disc bluff body* : A. Massa alir udara aksial pada ketinggian (Δ h minyak) = 2 mm

$$\begin{split} \dot{m}_{udara} &= \rho_{ud} \cdot A_{ud} \cdot v_{aksial} \\ v_{aksial} &= C \frac{d_{ud}^2}{D_{ud}^2} \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_m \cdot g \cdot \Delta h) / 1000}{(\rho_{ud} \cdot (1 - \beta^4))}} \\ \beta &= \frac{d_{ud}}{D_{ud}} = \frac{0,02 \text{ m}}{0,06 \text{ m}} = 0,333 \\ v_{aksial} &= (0,186) \frac{(0,02)^2}{(0,06)^2} \sqrt{\frac{2 \cdot (835 \cdot 9,81 \cdot 2) / 1000}{(1,208 \cdot (1 - (0,333)^4))}} = 1,109 \text{ m.s}^{-1} \\ \dot{m}_{udara} &= 1,208 \text{ [kg.m}^{-3]} \cdot 2,826 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2] \cdot 1,109 \text{ [m.s}^{-1]} = 3,716 \cdot 10^{-3} \text{ kg.s} \\ \text{Massa alir bahan bakar pada saat kondisi lift off : $\dot{m}_{bahan bakar} = \rho_{bb} \cdot A_{bb} \cdot v_{bb}$, dengan $\Delta h = 1 \text{ mm}$ (Hg)
 $v_{bb} = C \frac{d_{bb}^2}{D_{bb}^2} \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_{Hg} \cdot g \cdot \Delta h) / 1000}{\rho_{bb} \cdot (1 - \beta^4)}} \\ \beta &= \frac{d_{bb}}{D_{bb}} = \frac{0,004 \text{ m}}{0,01 \text{ m}} = 0,4 \\ v_{bb} &= (0,445) \frac{(0,004)^2}{(0,01)^2} \sqrt{\frac{2 \cdot (13600 \cdot 9,81 \cdot 1) / 1000}{2,009 \cdot (1 - (0,4)^4)}} = 0,832 \text{ m.s}^{-1} \end{split}$$$

• $m_{bahan \ bakar} = 2,009 \ [kg.m^{-3}] \cdot 7,850.10^{-5} \ [m^2] \cdot 0,832 \ [m.s^{-1}] = 1.312.10^{-4} \ kg.s^{-1}$ C. Massa alir bahan bakar pada saat kondisi *blow off*:

 $m_{bahan\ bakar} = \rho_{bb} \cdot A_{bb} \cdot v_{bb}$, dengan $\Delta h = 3 \text{ mm} (\text{Hg})$

$$v_{bb} = C \frac{d_{bb}^2}{D_{bb}^2} \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_{Hg} \cdot g \cdot \Delta h) / 1000}{\rho_{bb} \cdot (1 - \beta^4)}}$$

В.

١

$$\beta = \frac{d_{bb}}{D_{bb}} = \frac{0.004 \text{ m}}{0.01 \text{ m}} = 0.4$$

$$v_{bb} = (0.454) \frac{(0.004)^2}{(0.01)^2} \sqrt{\frac{2 \cdot (13600 \cdot 9.81.3)/1000}{2.009 \cdot (1 - (0.4)^4)}} = 1.468 \text{ m.s}^{-1}$$

 $m_{bahan \ bakar} = 2,009 \ [kg.m^{-3}] \cdot 7,850.10^{-5} \ [m^2] \cdot 1,468 \ [m.s^{-1}] = 2,315.10^{-4} \ kg.s^{-1}$

Dengan cara yang sama maka data hasil perhitungan dari hasil penelitian dapat dilihat pada lampiran 2-9.

4.1.1.3. Visualisasi api

Visualisasi api digunakan untuk mengetahui karakter api pada berbagai kondisi, sehingga dapat diketahui fenomena yang terjadi pada api difusi *annulus jet* pada tiap-tiap variasi penelitian yang telah dilakukan.

4.1.2. Distribusi temperatur api difusi *annulus jet* 4.1.2.1. Data penelitian

Untuk tiap variasi pengambilan data terdapat 9 titik pengukuran, tiap titik pengukuran diperoleh 300 data temperatur yang ditampilkan dalam grafik fluktuasi temperatur (lampiran 10 s/d lampiran 17). Dari tiap titik data temperatur ditentukan nilai rata-ratanya, kemudian diplot dalam grafik distribusi temperatur, sehingga dapat diketahui distribusi temperatur ke arah horizontal dan arah vertikal.

4.1.2.2. Kalibrasi temperatur

Kalibrasi temperatur dilakukan untuk mendapatkan persamaan yang menunjukkan korelasi antara tegangan (mV) yang dihasilkan *thermocouples* dengan temperatur (⁰C). Kalibrasi temperatur tersebut dilakukan dengan mengukur tegangan yang dihasilkan *thermocouples* menggunakan AVO meter dan pada saat yang sama temperatur pada api diukur menggunakan *digital thermometer*. Grafik korelasi tersebut adalah seperti gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Hubungan antara tegangan (mV) dengan Temperatur (⁰C)

Persamaam yang diperoleh dari grafik pada gambar 4.1 adalah: T = 23.99mV + 3.7948

Dari grafik dan persamaannya terlihat bahwa hubungan antara tegangan dan temperatur memiliki kecenderungan yang linier dengan koefisien korelasi (R^2) = 0,9999.

Dari persamaan yang telah diperoleh tersebut kemudian dimasukkan ke bahasa program dalam database *Analog to Digital Conventer* (ADC), dimana ADC ini berfungsi untuk mengkonversikan sinyal analog berupa tegangan dari sensor menjadi sinyal digital agar dapat dibaca oleh komputer, sehingga untuk setiap pembacaan perubahan tegangan yang akan diubah menjadi tampilan temperatur dalam komputer diperoleh besaran suhu terukur yang sesuai dengan besarnya suhu yang terukur oleh *digital thermometer*.

4.2. Analisa

4.2.1 Grafik kestabilan api difusi annulus jet

Grafik kestabilan api difusi *annulus jet* dibuat dengan menerangkan hubungan antara kecepatan aliran udara aksial dengan kecepatan aliran bahan bakar. Pada masing masing variasi penelitian, grafik kestabilan api difusi *annulus jet* dibagi menjadi tiga daerah dengan melihat kecenderungan batas yang terjadi yaitu daerah api stabil, daerah api *lift off* dan daerah api *blow off*. Batas masing-masing daerah tersebut didapat dengan menarik batas ketika api mengalami *lift off* dan *blow off*.



(b) Lift Off – Blow Off

Gambar 4.2 Grafik kestabilan api difusi annulus jet
Gambar 4.2 (a) dan (b) menunjukan diagram kestabilan api difusi annulus jet pada berbagai variasi penelitian, yaitu tanpa pemasangan *Disc Bluff Body*, diameter *Disc Bluff Body* 20 mm, 30 mm, 40 mm. Sumbu horisontal merupakan kecepatan aliran udara aksial sedangkan sumbu vertikal adalah kecepatan aliran bahan bakar.

Gambar 4.2 (a) terlihat daerah api stable dan daerah api lift off. Daerah api stable berada di bagian bawah garis yang menghubungkan kecepatan bahan bakar pada berbagai variasi kecepatan udara aksial sedangkan daerah api lift off berada di bagian atas garis tersebut. Begitu juga sama halnya dengan Gambar 4.2 (b), terlihat daerah api lift off dan daerah api blow off. Daerah api lift off berada di bagian bawah garis sedangkan daerah api blow off berada di bagian atas garis. Untuk semua kasus kecenderungannya ialah semakin besar aliran udara maka lift off dan blow off memiliki kecenderungan semakin lambat terjadi. Hal ini dikarenakan semakin cepat aliran udara maka massa alir udara juga semakin besar, sehingga semakin banyak udara yang bereaksi dengan bahan bakar, akibatnya pembakaran yang terjadi juga semakin baik. Selain itu meningkatnya aliran udara berarti juga meningkatkan intensitas turbulensi yang menyebabkan pencampuran udara dan bahan bakar semakin baik. Pada kasus tanpa pemasangan *disc bluff body* pada kecepatan aliran udara 0,3131 m.s⁻¹ sampai dengan 0,4992 m.s⁻¹ proses blow off terjadi secara bersamaan dengan proses terjadinya lift off (batas lift off dan blow off berimpit). Hal ini terjadi karena semakin cepat aliran udara, maka proses pencampuran antara bahan bakar dan udara juga semakin cepat, akibatnya Damköhler number (Da) menjadi semakin kecil, yang berarti waktu yang tersedia untuk melakukan reaksi (characteristic chemical time) tidak mencukupi dibandingkan waktu untuk mengalir (characteristic flow time). Hal ini mengakibatkan api mengalami blow off meskipun campuran bahan bakar dan udara masih dalam batas mampu nyala.

Pada gambar 4.2 (a) dan (b) terlihat bahwa dengan adanya pemasangan *disc bluff body* yang diameternya bervariasi membuat luasan daerah kestabilan api berubah. Semakin besar diameter *disc bluff body* yang digunakan, maka luasan daerah kestabilan memiliki kecenderungan semakin bertambah. Secara keseluruhan dengan diameter *disc bluff body* 40 mm mempunyai luasan daerah kestabilan yang paling luas. Pada grafik kestabilan dengan tanpa pemasangan *Disc bluff body*, dimana luasan daerah kestabilan cukup kecil karena pada seluruh kecepatan aliran udara aksial antara 0,1089 m.s⁻¹ sampai dengan 0,4992 m.s⁻¹ terjadi kondisi *lift off* pada kecepatan bahan bakar yang rendah untuk setiap penambahan kecepatan aksial kemudian diikuti kondisi *blow off*

apabila bahan bakar terus ditambah. Pada kondisi lain dengan pemasangan *Disc bluff body* 20 dan 30 mm, terlihat bahwa luasan daerah kestabilan menjadi lebih besar begitu juga kondisi *blow off* semakin sulit terjadi walaupun bahan bakar terus ditambah.

Pada pemasangan *Disc bluff body* dengan diameter 40 mm, dimana pada kondisi ini memiliki luasan daerah kestabilan api yang paling luas. Pada semua kecepatan aliran udara aksial 0,1089 m.s⁻¹ sampai dengan 0,4992 m.s⁻¹ sudah tidak terlihat adanya *blow off*, sehingga api tetap menyala pada kondisi *lift off* meskipun massa alir bahan bakar pada kondisi maksimum.

4.2.2 Visualisasi api difusi annulus jet



Gambar 4.4 Visualisasi api pada berbagai variasi pemasangan *Disc bluff body* $U = 0,4090 \text{ m.s}^{-1}, v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$

(a) Tanpa *Disc bluff body*(c) *Disc bluff body* 30 mm

(b) *Disc bluff body* 20 mm(d) *Disc bluff body* 40 mm



Gambar 4.5 Visualisasi api lift off pada berbagai variasi diameter Disc bluff body





(a) Tanpa *Disc bluff body*, U = 0,4090 m.s⁻¹, v = 1,753 m.s⁻¹
(b) *Disc bluff body* 20 mm, U = 0,4090 m.s⁻¹, v = 9,176 m.s⁻¹
(c) *Disc bluff body* 30 mm, U = 0,4090 m.s⁻¹, v = 9,414 m.s⁻¹
(d) *Disc bluff body* 40 mm, U 0,4090 m.s⁻¹, v = 11,339 m.s⁻¹

Pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 terlihat visualisasi api pada berbagai variasi pemasangan *Disc Bluff body* dengan kecepatan aliran bahan bakar yang sama, yaitu v = 7,121 m.s⁻¹, sedangkan kecepatan aliran udara aksial adalah U = 0,2122 m.s⁻¹ untuk Gambar 4.3 dan U = 0,4090 m.s⁻¹ untuk Gambar 4.4. Pada semua kasus, dengan

repository.ub.ac.ic

semakin besarnya diameter *Disc bluff body* yang digunakan, yaitu mulai dari pemasangan *Disc bluff body* 20 mm sampai dengan 40 mm, api cenderung semakin pendek dan mengalami penebalan ke arah horisontal. Pada U = 0,2122 m.s⁻¹ dan U=0,4090 m.s⁻¹ dengan tanpa *Disc bluff body* api yang terbentuk cenderung dalam kondisi *smooth* dan *uniform*. Tetapi pada kasus pemasangan *Disc bluff body* dengan diameter 20 dam 30 mm efek resirkulasi mulai terlihat, api tidak dalam kondisi yang *uniform* lagi. Pada diameter yang paling besar dapat terlihat dengan jelas efek resirkulasi yang terjadi, api semakin pendek dan mengalami penebalan kearah horizontal.

Pada hampir semua proses pembakaran difusi unsur hidrokarbon C_xH_y , terjadi pemanasan mendadak pada bahan bakar sebelum terdifusi sempurna dengan udara. Akibatnya unsur hidrokarbon terpecah menjadi unsur–unsur penyusunnya. Unsur karbon terbakar lebih dahulu dengan nyala kuning, sedangkan unsur hidrogen terbakar setelah unsur karbon terbakar dengan nyala yang hampir tak terlihat. Akan tetapi karena perbedaan fase unsur karbon dan hidrogen, unsur karbon akan habis terbakar setelah unsur hidrogen habis, sehingga secara umum pada hampir semua kasus, warna api hampir seluruhnya didominasi warna kuning yang disebabkan oleh radiasi pembentukan jelaga.

Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 terlihat visualisasi api lift off pada berbagai variasi pemasangan *Disc bluff body* dengan kecepatan aliran udara aksial U = 0.2122 $m.s^{-1}$ dan U= 0,4090 $m.s^{-1}$. Saat kondisi *lift off*, struktur api secara umum lebih turbulen dari pada saat kondisi stabil. Hal ini dikarenakan kecepatan aliran bahan bakar meningkat, sehingga angka Reynolds juga akan meningkat, akibatnya api menjadi semakin turbulen. Ketika kecepatan udara aksial semakin tinggi, maka untuk mencapai kondisi *lift off* diperlukan kecepatan bahan bakar yang lebih tinggi dari pada saat kecepatan udara aksial rendah. Fenomena terjadinya lift off ini merupakan suatu kondisi pembakaran dimana terjadi ketidakseimbangan antara kecepatan aliran bahan bakar pada pangkal api dan kecepatan penyalaan maksimum dalam proses pencampuran antara aliran jet bahan bakar dan fluida pengoksidasi. Hal ini karena pada dasarnya api memiliki kecenderungan untuk tetap bertahan uniform, sehingga dengan peningkatan kecepatan aliran bahan bakar yang tinggi, pangkal api tetap bertahan uniform. Ketika V dinaikkan lagi, maka proses pencampuran udara dan bahan bakar menjadi semakin tidak seimbang, sehingga api akan terus bergerak ke atas dan terjadi lift off semakin besar sampai api *blow off* (padam).

4.2.3. Distribusi temperatur api difusi annulus jet

Data temperatur dari hasil penelitian diplot dalam grafik fluktuasi temperatur untuk tiap titik pengamatan. Kemudian data temperatur pada tiap titik pengamatan ditentukan nilai temperatur rata-rata dan diplot dalam grafik distribusi temperatur untuk proses analisa. Grafik-grafik tersebut menunjukkan hubungan antara distribusi temperatur dengan posisi peletakan sensor temperatur.



(b) Posisi sensor pada y = 90 mm

4.2.3.1. Distribusi temperatur berdasar diameter Disc bluff body



(c) Posisi sensor pada y = 150 mm

Gambar 4.7 Grafik distribusi temperatur pada berbagai variasi pemasangan *Disc bluff* body $U = 0.2122 \text{ m.s}^{-1}, v = 1.187 \text{ m.s}^{-1}$

Gambar 4.7 (a), (b), dan (c) menampilkan hubungan antara distribusi temperatur dengan posisi peletakan sensor temperatur pada berbagai variasi penelitian, yaitu tanpa pemasangan *Disc bluff body*, diameter *Disc bluff body* 20, 30 dan 40 mm serta dengan peletakan sensor pada sumbu y = 30 mm, y = 90 mm, dan y = 150 mm. Kecepatan aliran udara aksial U = 0,2122 m.s⁻¹, kecepatan aliran bahan bakar v = 1,187 m.s⁻¹. Sumbu horisontal merupakan posisi peletakan sensor pada sumbu x, sedangkan sumbu vertikal adalah temperatur rata-rata yang terukur pada sensor temperatur.

Pada semua kasus terlihat bahwa pada sumbu api (x = 0 mm) cenderung memiliki temperatur yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan pada jarak tersebut *jet* bahan bakar memiliki kecepatan yang paling tinggi, sehingga terdapat banyak aliran massa bahan bakar, akibatnya proses difusi antara bahan bakar dan udara dapat berlangsung secara maksimal. Pada x = -10 mm dan x = 10 mm, rata – rata dihasilkan temperatur yang rendah karena pada jarak tersebut terdapat banyak suplai udara pembakaran, sehingga tidak semua atom-atom dari pengoksidasi bereaksi secara kimia dengan bahan bakar untuk menjadi produk pembakaran, akibatnya sejumlah kalor akan terbuang keluar sebagai akibat adanya pendinginan oleh aliran udara tersebut. Oleh karena itu cenderung terjadi temperatur rendah pada bagian tepi api (x = -10 mm dan x = 10 mm). Akan tetapi untuk tanpa pemasangan *Disc bluff body* pada posisi sensor y = 90 mm dan y = 150 mm terlihat bahwa yang terjadi adalah sebaliknya, dimana temperatur pada sumbu

api (x = 0 mm) sama dan bahkan lebih rendah dari pada temperatur pada tepi api. Hal ini disebabkan karena adanya resirkulasi produk panas pembakaran pada daerah tersebut sebagai akibat dari ketidakseimbangan antara kecepatan gas bahan bakar pada sumbu api (x = 0 mm) dengan kecepatan aliran udara aksial yang sedemikian, sehingga proses difusi berlangsung pada kondisi yang kurang baik. Efek resirkulasi ini mempengaruhi reaktan untuk bergerak ke arah tangensial menjauhi mulut nosel sehingga terjadi proses difusi yang baik pada posisi x = -10 mm dan x = 10 mm. Pada gambar 4.7 (b) dan (c) terlihat bahwa distribusi temperatur semakin merata. Untuk y = 150 mm temperatur terdistribusi dengan merata ke arah horizontal, khususnya *Disc bluff body* 20 dan 40 mm dengan tingkat perubahan temperatur yang rendah.

Pada kecepatan aliran udara yang rendah, efek dari pemasangan *Disc bluff body* belum begitu terlihat. Hal ini terlihat dari distribusi temperatur yang cenderung hampir sama pada berbagai variasi pemasangan *Disc bluff body*. Selanjutnya akan dapat diketahui pengaruh dari pemasangan *Disc bluff body* pada kondisi lain dengan menaikkan kecepatan aliran udara aksialnya. Hal ini dapat dilihat pada grafik 4.8 berikut ini :



(a) Posisi sensor pada y = 30 mm



(b) Posisi sensor pada y = 90 mm



(c) Posisi sensor pada y = 150 mm

Gambar 4.8 Grafik distribusi temperatur pada berbagai variasi pemasangan *Disc bluff* body $U = 0,4090 \text{ m.s}^{-1}, v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$

Pada kecepatan aliran udara yang tinggi terlihat jelas pengaruh pemasangan *Disc* bluff body terhadap distribusi temperatur yang dihasilkan api (Gambar 4.8 (a), (b) dan (c)). Semakin besar diameter *Disc bluff body*, temperatur terdistribusi secara merata ke arah horisontal. Pemasangan *Disc bluff body* 20, 30 dan 40 mm menghasilkan distribusi temperatur yang lebih merata dari pada tanpa pemasangan *Disc bluff body*, tetapi temperatur yang terjadi cenderung lebih rendah.

Secara keseluruhan, pada semua kasus terlihat temperatur api yang dihasilkan cenderung paling tinggi pada sumbu api (x = 0). Hal ini terjadi karena udara mengalir tanpa mengalami gangguan, sehingga proses difusi bahan bakar dan udara terjadi secara

m ko te ap

maksimal ke arah vertikal. Temperatur tinggi tersebut mengindikasikan bahwa pada kondisi tersebut proses pembakaran berlangsung dengan baik. Tetapi ada kalanya juga temperatur pada sumbu api turun lebih rendah atau sama dengan temperatur pada tepi api. Temperatur yang turun tersebut diakibatkan oleh adanya konsentrasi udara yang berlebih pada daerah tersebut sehingga udara lebih sebagai media pendingin.



4.2.3.2. Distribusi temperatur berdasar jarak aksial





(d) Disc bluff body 40 mm

Gambar 4.9 Grafik distribusi temperatur pada berbagai jarak aksial $U = 0,2122 \text{ m.s}^{-1}, v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$

Gambar 4.9 (a), (b), (c) dan (d) menampilkan hubungan antara distribusi temperatur dengan posisi peletakan sensor temperatur pada berbagai variasi jarak aksial, yaitu pada sumbu y = 30 mm, y = 90 mm, dan y = 150 mm serta dengan berbagai variasi penelitian, yaitu tanpa pemasangan *Disc bluff body*, diameter *Disc* 20, 30 dan 40 mm. Kecepatan aliran udara aksial U = 0,2122 m.s⁻¹ dan kecepatan aliran bahan bakar v = 1,187 m.s⁻¹. Sumbu horisontal merupakan posisi peletakan sensor pada sumbu x, sedangkan sumbu vertikal adalah temperatur rata-rata yang terukur pada sensor temperatur.

Dari gambar 4.9 terlihat bahwa distribusi temperatur ke arah horizontal pada posisi sensor temperatur y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm memiliki kecenderungan yang berbeda. Dari grafik terlihat bahwa mulai dari tanpa pemasangan *Disc bluff body* sampai *Disc bluff body* diameter 40 mm cenderung memiliki distribusi repository.ub.ac.id

temperatur yang semakin secara merata ke arah horisontal dengan tingkat perubahan temperatur yang rendah pada jarak aksial 150 mm (y = 150 mm). Jarak y = 150 mm merupakan jarak terjauh dari nosel, sehingga terdapat radiasi panas dari api yang terjadi lebih dekat dari nosel. Oleh karena itu, bagian pada tepi api akan mengalami peningkatan temperatur.



(b) Disc bluff body 20 mm



(d) *Disc bluff body* 40 mm

Gambar 4.10 Grafik distribusi temperatur pada berbagai jarak aksial $U = 0,4090 \text{ m.s}^{-1}, v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$

Pada kecepatan aliran udara yang lebih besar $U = 0,4090 \text{ m.s}^{-1}$ (Gambar 4.9), efek pemasangan *Disc bluff body* sangat jelas terlihat. Pada gambar 4.9 (a), distribusi temperatur cenderung memiliki keseragaman, yaitu temperatur tertinggi terjadi pada bagian tengah api dengan tingkat perubahan temperatur yang tinggi. Efek pemasangan *Disc bluff body* sangat jelas terlihat pada Gambar 4.9 (b), (c) dan (d). Temperatur api semakin terdistribusi secara merata ke arah horisontal, tetapi pada peletakan sensor untuk jarak y = 150 mm kecenderungannya memiliki temperatur yang paling rendah.. Kecenderungan temperatur tertinggi terjadi pada jarak y = 30 mm, karena terjadi resirkulasi yang baik pada jarak tersebut sehingga terdapat transfer panas dari gas panas (campuran bahan bakar dan udara yang sedang terbakar) ke gas dingin (bahan bakar), sehingga pembakaran berlangsung lebih mendekati sempurna. Disamping itu juga reaktan telah mengalami pemanasan awal. Hal ini mengakibatkan temperatur yang dihasilkan juga semakin tinggi. Temperatur tinggi tersebut mengindikasikan tempat berlangsungnya proses pembakaran. Akan tetapi pada kasus tanpa pemasangan *Disc bluff body* dan diameter 30 mm, pada jarak tersebut memiliki temperatur yang rendah. Hal ini disebabkan oleh karena di daerah tersebut konsentrasi bahan bakar tidak ada sehingga panas pada daerah tersebut hanya panas radiasi dari reaksi.

4.2.4. Fluktuasi temperatur api difusi annulus jet

Lampiran 10 s/d Lampiran 17 menunjukkan fluktuasi temperatur dari data yang diperoleh. Secara keseluruhan masing-masing Disc bluff body menghasilkan fluktuasi temperatur yang berlainan. Hal tersebut terjadi karena masing-masing disc membangkitkan struktur turbulensi yang berlainan pula. Pada kecepatan udara aksial yang rendah U = 0.2122 m.s^{-1} dan posisi peletakan sensor y = 30 mm temperatur cenderung tidak terlalu fluktuatif pada bagian tengah api. Hal ini berarti bahwa pada daerah tersebut api memiliki kestabilan yang baik, sehingga temperatur yang terukur berada disekitar nilai temperatur rata-rata data. Pada kondisi ini terjadi aliran resirkulasi yang cukup baik sehinggga mengakibatkan proses difusi dan homogenitas campuran bahan bakar dan udara lebih baik, maka pembakaran yang terjadi lebih cepat dan hampir dalam waktu yang bersamaan (spontan). Kecenderungan yang sama juga terjadi pada bagian tepi api (x = -10 mm dan x = 10 mm), karena pada posisi tersebut gerakan api dipengaruhi oleh small eddy scale, sehingga temperatur yang terukur mendekati temperatur rata-rata data. Pada posisi sensor temperatur yang paling jauh dari nosel bahan bakar y = 150 mm, gerakan api dipengaruhi oleh *large eddy scale*, sehingga temperatur berfluktuasi semakin tinggi dari nilai rata-rata temperatur. Pada saat temperatur yang terukur berada di bawah temperatur rata-rata data, berarti terdapat aliran udara masuk ke dalam api, sehingga temperatur udara yang lebih dominan terukur. Akan tetapi pada saat temperatur yang terukur berada di atas temperatur ratarata data, berarti temperatur api yang lebih dominan terukur. Fluktuasi yang begitu besar dikarenakan kecepatan udara pada daerah tersebut lebih acak sehingga udara menembus daerah reaksi dan mendinginkan sensor. Pada kecepatan udara aksial yang tinggi U = 0,4090 m.s⁻¹ gerakan api semakin tidak teratur dan temperatur yang terukur cenderung lebih fluktuatif pada semua kondisi dengan tingkat eddy size yang lebih kecil, hal ini mengindikasikan bahwa dengan memperbesar kecepatan aliran udara aksial akan mengakibatkan terjadinya peningkatan kestabilan api.

Semakin besar diameter *Disc bluff body*, maka aliran udara semakin dipengaruhi oleh. *small eddy scale*, walaupun masih terlihat adanya *large eddy scale* pada aliran udara. Hal ini bisa dilihat pada pemasangan *Disc bluff body* 20 dan 30 mm dengan kecepatan aliran udara $U = 0,2122 \text{ m.s}^{-1}$, fluktuasi temperatur yang terjadi mengindikasikan bahwa gerakan api semakin tidak teratur dengan tingkat *eddy scale* yang lebih kecil. Hal ini mengakibatkan api mempunyai tingkat kestabilan yang tinggi. Begitu juga pada aliran udara aksial yang tinggi $U = 0,4090 \text{ m.s}^{-1}$, gerakan api cenderung hanya dipengaruhi oleh *small eddy scale* pada aliran baik di bagian tengah maupun bagian tepi api sehingga temperatur cenderung tidak fluktuatif. Kondisi ini juga mengidikasikan bahwa gerakan api semakin tidak teratur sehingga menyebabkan tingkat kestabilan api meningkat pada kecepatan aliran udara aksial yang tinggi.

Pada pemasangan *Disc bluff body* 40 mm, gerakan api cenderung didominasi oleh *small eddy scale*, akan tetapi *large eddy scale* juga masih tampak terlihat. Hal ini terlihat dari tingkat fluktuasi temperatur yang berkurang pada pemasangan *Disc bluff body* 40 mm. Oleh karena *small eddy scale* yang lebih banyak berperan, akibatnya pada pemasangan *Disc bluff body* 40 mm memiliki tingkat kestabilan api yang paling tinggi.

4.3. Pembahasan

Secara keseluruhan dari analisa mengenai grafik kestabilan api, visualisasi api , distribusi temperatur dan fluktuasi temperatur terlihat adanya suatu keterkaitan. Semakin besar diameter *Disc bluff body* yang digunakan, luasan daerah kestabilan memiliki kecenderungan semakin bertambah, profil api memendek dan menebal, distribusi temperatur semakin merata serta fluktuasi temperatur yang terjadi tidak terlalu fluktuatif.

Semakin besar diameter *Disc bluff body*, maka jumlah gas yang bersirkulasi juga semakin besar. Hal ini akan mengakibatkan ketidakstabilan pada aliran yang semakin besar pula. Ketidakstabilan aliran ini akan memperkuat proses pengadukan reaktan serta meningkatkan intensitas turbulensi, sehingga pencampuran bahan bakar dan udara lebih homogen setelah melewati *Disc bluff body*, akibatnya pembakaran yang terjadi juga semakin baik dan luasan daerah kestabilan memiliki kecenderungan semakin bertambah. Terbentuknya resirkulasi yang paling besar pada kondisi tersebut, mengakibatkan jumlah produk panas pembakaran yang bersirkulasi semakin banyak, terjadi pencampuran bahan bakar dan udara yang paling baik, sehingga terjadi pembakaran yang merata pada hampir seluruh daerah pencampuran. Serta akan mengakibatkan tekanan ke arah radial semakin menjauhi mulut nosel, akibatnya zona resirkulasi semakin mendekati mulut nosel, maka api akan mengalami pemendekan ke arah vertikal dan penebalan ke arah horisontal. Fluktuasi temperatur yang terjadi pun semakin berkurang dikarenakan *small eddy scale* yang lebih banyak mempengaruhi gerakan api, baik pada aliran udara maupun langsung pada gerakan apinya, sehingga kestabilan apinya meningkat.

Aliran resirkulasi karena pemasangan *Disc bluff body* mengakibatkan peningkatan proses pemanasan awal terhadap reaktan. Adanya pemanasan awal mengakibatkan terjadi penambahan energi pada molekul-molekul bahan bakar, selanjutnya energi kinetik molekul-molekul akan meningkat.. Hal ini sesuai dengan rumus energi kinetik yaitu $\frac{1}{2}$ mv² = $\frac{3}{2}$ kT (Halliday,1978: 772), dengan k adalah *konstanta Boltzmann*. Dari rumus tersebut terlihat bahwa temperatur sebanding dengan energi kinetik molekul, jadi semakin tinggi energi kinetik dari molekul, maka temperatur juga akan semakin meningkat.Hal ini mengakibatkan molekul-molekul yang bereaksi menjadi lebih aktif mengadakan tumbukan, sehingga pembakaran akan semakin baik seperti dinyatakan oleh Kuo (1986) bahwa semakin luas zona reaksi dan semakin tinggi temperatur awal pembakaran maka kecepatan pembakaran juga akan meningkat.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh Variasi Diameter Disc Bluff Body Terhadap Kestabilan Nyala dan Distribusi Temperatur Pada Api Difusi Annulus Jet, dapat dibuat kesimpulan bahwa :

- Variasi diameter *Disc Bluff Body* mempengaruhi kestabilan nyala. Semakin besar diameter *disc*, kestabilan api meningkat. Daerah kestabilan api difusi *annulus jet* terbesar diperoleh pada pemasangan *Disc Bluff Body* dengan diameter 40 mm.
- Temperatur api difusi *annulus jet* semakin terdistribusi merata ke arah horisontal seiring dengan meningkatnya diameter *Disc Bluff Body*, distribusi temperatur ke arah horisontal yang paling merata diperoleh pada pemasangan *Disc Bluff Body* dengan diameter 40 mm. Fluktuasi temperatur yang paling kecil cenderung terjadi pada bagian tengah sumbu api.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat dilakukan beberapa penelitian lebih lanjut mengenai :

- Variasi diameter *Disc Bluff Body* dan kecepatan udara aksial yang lebih besar pada pembakaran api difusi *annulus jet*.
- Karakteristik pola aliran fluida yang terjadi ketika melalui *Disc Bluff Body* pada *annulus* udara.
- Pengaruh pemasangan *Disc Bluff Body* dengan jarak dari ujung pipa bahan bakar yang bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

Bahawan, J; 2002: Pengaruh Dimensi Disc Bluff Body Terhadap Waktu Penyalaan Pada Awal Pembakaran; Skripsi; Universitas Brawijaya, Malang.(Tidak dipublikasikan).

Culp, Archie W.; 1996: Prinsip-prinsip Konversi Energi; Erlangga, Jakarta.

- Hifni, Mohammad; 1990: *Metode Statistika*; Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Kuo, Kenneth K.; 1986: Principles of Combustion; John Wiley & Sons Inc, New York.
- Monnot, G.; 1985: Principles of Turbulent Fired Heat; Gulf Publishing Company, Texas.
- Peters, N; 1997: Four Lectures on Turbulent Combustion; Ercoftac Summer School, Germany.

Raman, V; 2005: Large Eddy Simulation of a Bluff Body Stabilized non Premixed Flame Using a Recursive Filter Refinement Procedure; Stanford University, USA.

Resnick, Halliday; 1986: Physics for University; Mc Graw Hill, New York.

- Saputro, D; 2006: Pengaruh Variasi Bentuk Geometri Bluff Body Terhadap Temperatur Pada Proses Pembakaran Difusi; Skripsi; Universitas Brawijaya, Malang.(Tidak dipublikasikan).
- Sudjana, Andi; 2001: Pengaruh Kecepatan Udara Pembakaran Terhadap Terbakarnya Bahan Bakar Pada Awal Pembakaran; Skripsi; Universitas Brawijaya, Malang.(Tidak dipublikasikan).
- Tjokroawidjojo, Soetiari; 1986: Bahan Bakar dan Proses-Proses Kimia Pembakaran; Universitas Brawijaya, Malang.
- Turns, Stephen R.; 1996: An Introduction to Combustion; McGraw-Hill, New York.
- Wardana, I. N. G.; 1995: *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*; Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

White, F.M.; 1994: Mekanika Fluida; Erlangga, Jakarta.

- Widodo, A. S.; 2005: Hand Out Mata Kuliah Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran; Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Wijayanti, W.; 2005: *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*; Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

www.pertamina.com.

STINERSITAS BRAWING

LAMPIRAN



LPG terdiri dari 70 % propana dan 30 % n-butana.

Persamaan reaksi:

 $0,7 \text{ C}_{3}\text{H}_{8} + 0,3 \text{ C}_{4}\text{H}_{10} + 5,45 (\text{O}_{2} + 3,76 \text{ N}_{2}) \rightarrow 3,3 \text{ CO}_{2} + 4,3 \text{ H}_{2}\text{O} + 20.492 \text{ N}_{2}$

Berikut sifat-sifat pereaksi senyawa pembentuk LPG pada 1 atm dan 27 °C:

Zat	Rumus Kimia	Berat Molekul	Massa Jenis
		$(kg.kg^{-1}.mol^{-1})$	$(kg.m^{-3})$
Udara		28,97	1,208
Propana	C_3H_8	44,099	1,887
<i>n</i> -Butana	C ₄ H ₁₀	58,126	2,495

Sumber: Culp, 1996: 468

Berikut spesifikasi untuk commercial propane dan n-butane :

	Hydrocarbon	propane	n - butane
Properties		JA I	
High heating walnes	(kcal.kg ⁻¹)	12.034	11.832
High heating value	(kcal.m ⁻³)	24.290	31.990
Law hasting walks	(kcal.kg ⁻¹)	11.079	10.926
Low nearing value	(kcal.m^{-3})	22.370	29.540
kg air/kg fuel		15,63	15,42
(NTP) m ³ air/kg fuel		12,09	11,93
(NTP) $m^3 air / m^3 fuel$		24,41	32,25
Maximum CO2 in wet flue g	gas (% volume)	11,56	11,90
Maximum CO2 in dry flue g	as (% volume)	13,64	13,99
Temperature (°C) of adiaba instoichiometric air at (°	<i>itic combustion</i> C) and 1 bar	1.994	1.996
Temperature of autoignitior stoichiometric air	n (°C) in OO	480	420

Sumber: Monnot, 1985: 8

Berat Molekul bahan bakar = MW = 0.7 (44,099) + 0.3 (58,126)

 $= 48,3071 \text{ kg.kg}^{-1}.\text{kmol}^{-1}$

Massa jenis = $\rho = \frac{P}{R.T} = \frac{P}{R_u . T / (MW)}$

(Culp,1996: 51)

$$=\frac{(1 \text{ atm})(1,0133 \text{ bar.atm}^{-1})}{(0,08315 \text{ bar.m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1})(300 \text{ K})/(48,3071 \text{ kg.kg}^{-1}.\text{mol}^{-1})}$$

= 2 009 kg m⁻³

 $\frac{A}{F} = \frac{m_{udara}}{m_{bahan \ bakar}}$

$$= \left[(0,7).(15,63) + (0,3).(15,42) \right] \frac{kg_{udara}}{kg_{bahan \, bakar}}$$

RAWIJA

= 15,567 $\frac{\text{kg}_{\text{udara}}}{\text{kg}_{\text{bahan bakar}}}$

$$\begin{split} HHV_v &= 0,7 \ (HHV)_{C3H8} + 0,3 \ (HHV)_{C4H10} \\ &= 0,7 \ (24.290) + 0,3 \ (31.990) \\ &= 26.600 \ kcal.m^{-3} \\ HHV_m &= 0,7 \ (HHV)_{C3H8} + 0,3 \ (HHV)_{C4H10} \\ &= 0,7 \ (12.034) + 0,3 \ (11.832) \\ &= 11.973,4 \ kcal.kg^{-1} \\ LHV_v &= 0,7 \ (LHV)_{C3H8} + 0,3 \ (LHV)_{C4H10} \\ &= 0,7 \ (22.370) + 0,3 \ (29.540) \\ &= 25.521 \ kcal.m^{-3} \\ LHV_m &= 0,7 \ (LHV)_{C3H8} + 0,3 \ (LHV)_{C4H10} \\ &= 0,7 \ (11.079) + 0,3 \ (10.926) \\ &= 11.033,1 \ kcal.kg^{-1} \end{split}$$

ΔH Manometer	Bahan Bakar									
Udara Aksial		Lift off	XIVE	110	Blow off					
(mm)	ΔH (mmHg)	V (m/s)	X	ΔH (mmHg)	V (m/s)	$\overline{\mathbf{X}}$				
P. T. BKS	1	0.8315	0.733	2	1.1877	1.307				
TALIS D	0.5	0.5849		2	1.1877	STUES				
2	1	0.8315		3	1.4864					
	0.5	0.5849		3	1.4864					
	1	0.8315		2	1.1877	A				
	2	1.1877	1.116	4	1.7107	1.665				
	1 -	0.8315		3	1.4864	ND				
4	2	1.1877		5	1.9288					
	2	1.1877		3	1.4864					
	2	1.1877		4	1.7107	1				
	4	1.7107	1.709	4	1.7107	1.709				
	5	1.9288		5	1.9288					
6	3	1.4864		3	1.4864					
	4	1.7107		4	1.7107					
	4	1.7107		4	1.7107					
	5	1.9288	1.753	(5)	1.9288	1.753				
	4	1.7107	443817	4	1.7107					
8	3	1.4864		3	1.4864					
	4	1.7107		4	1.7107					
	5	1.9288	\$4)\$9(6)	5	1.9288					
	4	1.7107	1.754	4	1.7107	1.754				
	4	1.7107		4	1.7107					
10	5	1.9288		5	1.9288					
51	4	1.7107		4	1.7107					
AS	4	1.7107		4	1.7107					

Lampiran 2. Data hasil penelitian dengan tanpa pemasangan disc bluff body

∆H Manometer		Bahan Bakar									
Udara Aksial		Lift off			Blow off						
(mm)	ΔH (mmHg)	V (m/s)	$\overline{\mathbf{X}}$	ΔH (mmHg)	V (m/s)	$\overline{\mathbf{X}}$					
BKAAN	18	3.9550544	4.152	460	17.509515	17.539					
	20	4.2035995		480	17.543608						
2	18	3.9550544		486	17.549082						
	22	4.4423265		490	17.551539						
	20	4.2035995		480	17.543608						
	30	5.3175331	5.435	480	17.543608	17.545					
	34	5.7162044	5 64	490	17.551539						
4	30	5.7162044		476	17.551539						
	28	5.1092569		484	17.547497						
	30	5.3175331		470	17.529645						
	36	5.9074071	5.745								
	34	5.9074071									
6	36	5.3175331									
	36	5.3175331									
	40	6.2752094									
	80	9.202884	9.176								
	76	8.9565645									
8	82	9.3230423									
	84	9.4412775		5							
	76	8.9565645									
	90	9.7849769	9.873								
10	96	10.113184									
	92	9.8960398									
	90	9.7849769									
	90	0 7840760									

U Y

Lampiran 3. Data hasil penelitian dengan diameter disc bluff body 20 mm

∆H Manometer		Bahan Bakar									
Udara Aksial		Lift off		Blow off							
(mm)	ΔH (mmHg)	V (m/s)	$\overline{\mathbf{X}}$	ΔH (mmHg)	V (m/s)	$\overline{\mathbf{X}}$					
BK	30	5.3175331	5.316	490	17.551539	17.548					
	32	5.5197051		500	17.551539						
2	30	5.3175331		480	17.543608						
	28	5.1092569		480	17.543608						
	30	5.3175331		490	17.551539	AUT					
	70	8.5711171	7.741			XVP					
	50	7.1212984	5 6 6								
4	56	7.5863491		44 17							
	66	8.3026702									
	50	7.1212984									
	56	7.5863491	8.447								
	66	8.3026702									
6	70	8.5711171	マリー ファ								
	80	9.202884									
	70	8.5711171									
	80	9.202884	9.414								
	82	9.3230423									
8	80	9.202884									
	86	9.557644		61							
	90	9.7849769									
	100	10.323962	10.403								
	96	10.113184									
10	110	10.825012									
	102	10.42706	ЦЕЛО								
	100	10.323962									

Lampiran 4. Data hasil penelitian dengan diameter disc bluff body 30 mm

Lamp	
1	
ΔΙ	
t	
2RPL'A	
31-2 T	

Lampiran 5. Data hasil penelitian dengan diameter disc bluff body 40 mm

∆H Manometer		AD A M				
Udara Aksial		Lift off			Blow off	Phil
(mm)	ΔH (mmHg)	V (m/s)	X	ΔH (mmHg)	V (m/s)	X
BKAAN	30	5.3175331	5.351		H 1	
2 K BKS	30	5.3175331				TELS H
2	36	5.9074071		X		
DSI III A	26	4.8943755				
	30	5.3175331				
LATO	40	6.2752094	6.408			AYA
	38	6.0936442	5 6			
4	40	6.2752094		-4 1/1		NUM
	50	7.1212984				
	40	6.2752094				
3	90	9.7849769	9.778			
	100	10.323962				
6	88	9.672194				
	90	9.7849769				
	82	9.3230423				
	120	11.292296	11.339			
	126	11.557904				
8	130	11.729227				
	120	11.292296		<u> </u>		
	110	10.825012				
	140	12.138649	12.262			
10	140	12.138649				
	150	12.522957				
	140	12.138649				A
	146	12.37211				
		RA IV				

Lampiran 6. Data kecepatan dan massa alir dengan tanpa *disc bluff body*

SITAS BRAN									
Kece	patan (m/s)	1.		Massa Alir (kg/s)					
Ildoro Aksial	Bahar	n Bakar	Udara Aksial	Bahan	Bakar				
Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off				
0.1089	0.8315	1.1877 😽	0.00037164	0.00013113	0.00018731				
0.2122	1.1877	1.7107	0.00072431	0.00018731	0.00026979				
0.3131	1.7107	1.7107	0.00106885	0.00026979	0.00026979				
0.4090	1.9288	1.9288	0.00139616	0.00030418	0.00030418				
0.4992	1.7107	1.7107	0.00170423	0.00026979	0.00026979				
	Kece Udara Aksial 0.1089 0.2122 0.3131 0.4090 0.4992	Kecepatan (m/s) Bahar Udara Aksial Bahar Lift Off 1.1877 0.2122 1.1877 0.3131 1.7107 0.4090 1.9288 0.4992 1.7107	Kecepatan (m/s) Bahan Bakar Lift Off Blow Off 0.1089 0.8315 1.1877 0.2122 1.1877 1.7107 0.3131 1.7107 1.7107 0.4090 1.9288 1.9288 0.4992 1.7107 1.7107	Kecepatan (m/s) Bahan Bakar Udara Aksial Lift Off Blow Off Udara Aksial 0.1089 0.8315 1.1877 0.00037164 0.2122 1.1877 1.7107 0.00072431 0.3131 1.7107 1.7107 0.00106885 0.4090 1.9288 1.9288 0.00139616 0.4992 1.7107 1.7107 0.00170423	Massa Alir (kg/s) Bahan Bakar Massa Alir (kg/s) Udara Aksial Bahan Bakar Udara Aksial Bahan Lift Off Blow Off Udara Aksial Lift Off Bahan 0.1089 0.8315 1.1877 0.00037164 0.00013113 0.2122 1.1877 1.7107 0.00072431 0.00018731 0.3131 1.7107 1.7107 0.00106885 0.00026979 0.4090 1.9288 1.9288 0.00139616 0.00030418 0.4992 1.7107 1.7107 0.00170423 0.00026979				

ΔH Manometer Udara Aksial	Kece	patan (m/s)	E.	Massa Alir (kg/s)			
	Ildona Abrial	Baha	n Bakar 🛛 😨	Udara Aksial	Bahan	Bakar	
(mm)		Lift Off	Blow Off	Ouara Aksiai	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	0.5849	1.1877	0.00037164 💙	0.00009223	0.00018731	
4	0.2122	0.8315	1.4864	0.00072431	0.00013113	0.00023158	
6	0.3131	1.9288	1.9288	0.00106885	0.00030418	0.00030418	
8	0.4090	1.7107	1.7107	0.00139616	0.00026979	0.00026979	
10	0.4992	1.7107	1.7107	0.00170423	0.00026979	0.00026979	

Data 3

AH Manamatar	Kece	patan (m/s)		Massa Alir (kg/s)			
Udara Aksial	Ildara Aksial	Bahan Bakar		Udara Aksial	Bahan Bakar		
(mm)	Oual a Aksiai	Lift Off	Blow Off	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	0.8315	1.4864	0.00037164	0.00013113	0.00023158	
4	0.2122	1.1877	1.9288	0.00072431	0.00018731	0.00030418	
6	0.3131	1.4864	1.4864	0.00106885	0.00023158	0.00023158	
8	0.4090	1.4864	1.4864 📎	0.00139616	0.00023158	0.00023158	
10	0.4992	1.9288	1.9288	0.00170423	0.00030418	0.00030418	

ΔH Manometer Udara Aksial	Kecepatan (m/s)			Massa Alir (kg/s)			
	Udara Aksial	Baha	n Bakar	Udara Aksia	Bahan	Bakar	
(mm)	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off		Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	0.5849	1.4864	0.00037164	0.00009223	0.00023158	
4	0.2122	1.1877	1.4864	0.00072431	0.00018731	0.00023158	
6	0.3131	1.7107	1.7107	0.00106885	0.00026979	0.00026979	
8	0.4090	1.7107	1.7107	0.00139616	0.00026979	0.00026979	
10	0.4992	1.7107	1.7107	0.00170423	0.00026979	0.00026979	

ΔH Manometer Udara Aksial	Kecepatan (m/s)			Massa Alir (kg/s)			
	IIdana Almial	Baha	n Bakar	Ildara Aksial	Bahan	Bakar	
(mm)	Udal a Aksiai	Lift Off	Blow Off	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	0.8315	1.1877	0.00037164	0.00013113	0.00018731	
4	0.2122	1.1877	1.7107	0.00072431	0.00018731	0.00026979	
6	0.3131	1.7107	1.7107	0.00106885	0.00026979	0.00026979	
8	0.4090	1.9288	1.9288	0.00139616	0.00030418	0.00030418	
10	0.4992	1.7107	1.7107	0.00170423	0.00026979	0.00026979	



Lampiran	7. Data	. kecepatan	dan massa	alir dengan	Disc bluff bod	<i>ly</i> 20 mm
Data 1				E		

Data 1

ΔH Manometer Udara Aksial (mm)		Kecepatan (m/s)		Massa Alir (kg/s)			
	Udara Aksial	Bahan Bakar		Udara Aksial	Bahan	Bakar	
	Ouara Aksiai	Lift Off	Blow Off	Odal a Aksiai	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	3.955054391	17.5095146	0.00037164	0.000623738	0.002761364	
4	0.2122	5.317533093	17.5436082	0.00072431	0.00083861	0.002766741	
6	0.3131	5.907407108		0.00106885	0.000931636	5	
8	0.4090	9.202884002	え 辛び	0.00139616	0.001451355		
10	0.4992	9.784976864		0.00170423	0.001543154		

AH Manometer Udara Aksial (mm)	bra	Kecepatan (m/s)		Massa Alir (kg/s)			
	Ildana Alerial	Bahan Bakar		Udara Aksial	Bahan	Bakar	
	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off		Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	4.203599491	17.5436082	0.00037164	0.000662935	0.002766741	
4	0.2122	5.716204372	17.5515386	0.00072431	0.000901483	0.002767992	
6	0.3131	5.907407108		0.00106885	0.000931636		
8	0.4090	8.956564511		0.00139616	0.001412508		
10	0.4992	10.11318355		0.00170423	0.001594915	DAW II	



Data 3

AH Manometer		Kecepatan (m/s)		Massa Alir (kg/s)			
Udara Aksial	Udara Absial	Bahan Bakar		Udara Aksial	Bahan	Bakar	
(mm)	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off	Utal a Aksiai	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	3.955054391	17.5490822	0.00037164	0.000623738	0.002767604	
4	0.2122	5.716204372	17.5515386	0.00072431	0.000901483	0.002767992	
6	0.3131	5.317533093		0.00106885	0.00083861	π	
8	0.4090	9.323042338		0.00139616	0.001470304	2	
10	0.4992	9.896039763		0.00170423	0.00156067		

ERSITAS BRAW.

ΔH Manometer Udara Aksial	BRA	Kecepatan (m/s)		Massa Alir (kg/s)			
	ra Aksial (mm)	Bahan Bakar		Udara Aksial	Bahan	Bakar	
(mm)		Lift Off	Blow Off		Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	4.442326483	17.5515386	0.00037164	0.000700584	0.002767992	
4	0.2122	5.109256854	17.5474971	0.00072431	0.000805763	0.002767354	
6	0.3131	5.317533093		0.00106885	0.00083861		
8	0.4090	9.441277465		0.00139616	0.001488951		
10	0.4992	9.784976864		0.00170423	0.001543154		

Data 5

SITAS BRAN

ΔH Manometer Udara Aksial (mm)	P.I.X	Kecepatan (m/s)		Massa Alir (kg/s)			
	Ildana Absial	Bahan	Bakar	Udara Aksial	Bahan	Bakar	
	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	4.203599491	17.5436082	0.00037164	0.000662935	0.002766741	
4	0.2122	5.317533093	17.5296445	0.00072431	0.00083861	0.002764539	
6	0.3131	6.275209362	$\zeta \mathcal{A} \mathcal{B}$	0.00106885	0.000989641		
8	0.4090	8.956564511	- Entry	0.00139616	0.001412508	T	
10	0.4992	9.784976864		0.00170423	0.001543154		



Lampiran 8. Data kecepatan dan massa alir dengan *Disc bluff body* 30 mm .

Data 1

ΔΗ		Kecepatan (m/s)		Massa Alir (kg/s)			
Manometer		Bahan Bakar			Bahan	Bakar	
(mm)	Udara Aksiai	Lift Off	Lift Off Blow Off	Udara Aksiai	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	5.317533093	17.55153862	0.00037164	0.00083861	0.002767992	
4	0.2122	8.571117099		0.00072431	0.001351721		
6	0.3131	7.586349106		0.00106885	0.001196417		
8	0.4090	9.202884002	広回び	0.00139616	0.001451355		
10	0.4992	10.32396154		0.00170423	0.001628156		

ΔΗ		Kecepatan (m/s)		Massa Alir (kg/s)			
Manometer		Bahan Bakar			Bahan Bakar		
(mm)	Udara Aksiai	Lift Off	Blow Off	Udara Aksial	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	5.519705067	17.55153862	0.00037164	0.000870493	0.002767992	
4	0.2122	7.121298392	J	0.00072431	0.001123075		
6	0.3131	8.302670244		0.00106885	0.001309385		
8	0.4090	9.323042338		0.00139616	0.001470304		
10	0.4992	10.11318355		0.00170423	0.001594915		



e p o ;

Data 3

ΔΗ	SUAU	Kecepatan (m/s)	GITA	Massa Alir (kg/s)			
Manometer	Udana Alvaial	Bahan Bakar		Udana Aksial	Bahan Bakar		
(mm)	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off	Udara Aksial	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	5.317533093	17.54360821	0.00037164	0.00083861	0.002766741	
4	0.2122	7.586349106		0.00072431	0.001196417	S	
6	0.3131	8.571117099		0.00106885	0.001351721		
8	0.4090	9.202884002		0.00139616	<0.001451355		
10	0.4992	10.82501221		0.00170423	0.001707175		

ΔΗ		Kecepatan (m/s)	a Yel	Massa Alir (kg/s)		
Manometer		Bahan Bakar			Bahan Bakar	
(mm)	Udara Aksiai	Lift Off	Blow Off	Udara Aksial	Lift Off	Blow Off
2	0.1089	5.109256854	17.54360821	0.00037164	0.000805763	0.002766741
4	0.2122	8.302670244	y ,	0.00072431	0.001309385	
6	0.3131	9.202884002		0.00106885	0.001451355	
8	0.4090	9.55764403		0.00139616	0.001507303	VAU
10	0.4992	10.42706047		0.00170423	0.001644415	



e p o

Data 5

ΔΗ	J JAU	Kecepatan (m/s)	STA	Massa Alir (kg/s)			
Manometer	Udana Abrial	Bahan Bakar		Udara Aksial	Bahan Bakar		
(mm)	Udara Aksiai	Lift Off	Blow Off	Udara Aksial	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	5.317533093	17.55153862	0.00037164	0.00083861	0.002767992	
4	0.2122	7.121298392		0.00072431	0.001123075	SE	
6	0.3131	8.571117099		0.00106885	0.001351721		
8	0.4090	9.784976864		0.00139616	0.001543154		
10	0.4992	10.32396154		0.00170423	0.001628156	#	

Øт

Lampiran 9. Data kecepatan dan massa alir dengan *Disc bluff body* 40 mm

ΔΗ	ŀ	Kecepatan (m/s)		Massa Alir (kg/s)			
Manometer Udara Aksial (mm)	Udana Alisial	Bahan Bakar		Udana Aksial	Bahan Bakar		
	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off		Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	5.317533093		0.00037164	0.00083861		
4	0.2122	6.275209362	1210	0.00072431	0.000989641		
6	0.3131	9.784976864		0.00106885	0.001543154		
8	0.4090	11.29229561		0.00139616	0.001780868		
10	0.4992	12.1386494		0.00170423	0.001914344		

ΔH Manometer Udara Aksial (mm)	Kecepatan (m/s)			Massa Alir (kg/s)		
	<mark>U</mark> dara Aksial	Bahan Bakar			Bahan Bakar	
		Lift Off	Blow Off		Lift Off	Blow Off
2	0.1089	5.317533093	\\ T \/ \\	0.00037164	0.00083861	EDSI I P
4	0.2122	6.093644215	P a Y	0.00072431	0.000961007	HTEO
6	0.3131	10.32396154		0.00106885	0.001628156	
8	0.4090	11.55790378		0.00139616	0.001822757	UPIN
10	0.4992	12.1386494		0.00170423	0.001914344	VAVI

e p o

Data 3

ΔH Manometer <i>Udara Aksial</i> (mm)	Kecepatan (m/s)			Massa Alir (kg/s)		
	<mark>U</mark> dara Aksial	Bahan Bakar		Ildana Alvaial	Bahan Bakar	
		Lift Off	Blow Off	Udara Aksiai	Lift Off	Blow Off
2	0.1089	5.907407108		0.00037164	0.000931636	BKA
4	0.2122	6.275209362		0.00072431	0.000989641	SP
6	0.3131	9.672194004		0.00106885	0.001525368	
8	0.4090	11.72922735		0.00139616	0.001849775	1405
10	0.4992	12.52295684		0.00170423	0.001974952	

ΔH Manometer <i>Udara Aksial</i> (mm)	Kecepatan (m/s)			Massa Alir (kg/s)			
	<mark>U</mark> dara Aksial	Bahan Bakar			Bahan Bakar		
		Lift Off	Blow Off	Udara Aksiai	Lift Off	Blow Off	
2	0.1089	4.89437545		0.00037164	0.000771875	AD P	
4	0.2122	7.121298392	(\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\	0.00072431	0.001123075	ISCITA	
6	0.3131	9.784976864	pa D	0.00106885	0.001543154	EFFERS	
8	0.4090	11.29229561		0.00139616	0.001780868	IN HOL	
10	0.4992	12.1386494		0.00170423	0.001914344		



epo

Data 5

ΔH Manometer <i>Udara Aksial</i> (mm)	Kecepatan (m/s)			Massa Alir (kg/s)		
	<mark>U</mark> dara Aksial	Bahan Bakar		Udana Aksial	Bahan Bakar	
		Lift Off	Blow Off	Uuara Aksiai	Lift Off	Blow Off
2	0.1089	5.317533093		0.00037164	0.00083861	BKA
4	0.2122	6.275209362		0.00072431	0.000989641	SP
6	0.3131	9.323042338		0.00106885	0.001470304	
8	0.4090	10.82501221		0.00139616	0.001707175	100
10	0.4992	12.37210996	TOP	0.00170423	0.001951162	
Lampiran 10. Fluktuasi temperatur api difusi *annulus jet* dengan tanpa pemasangan *Disc bluff body* pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm $U = 0,2122 \text{ m.s}^{-1}$, $v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$





Lampiran 11. Fluktuasi temperatur api difusi *annulus jet* dengan tanpa pemasangan *Disc bluff body* pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm $U = 0,4090 \text{ m.s}^{-1}$, v = 1,187 m.s⁻¹



Lampiran 12. Fluktuasi temperatur api difusi *annulus jet* dengan pemasangan *Disc bluff body* 20 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm $U = 0,2122 \text{ m.s}^{-1}, v = 1,187 \text{ m.s}^{-1}$



repo

Lampiran 13. Fluktuasi temperatur api difusi *annulus jet* dengan pemasangan *Disc bluff body* 20 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm $U = 0.4090 \text{ m.s}^{-1}$, v = 1.187 m.s⁻¹



repo

Lampiran 14. Fluktuasi temperatur api difusi *annulus jet* dengan pemasangan *Disc bluff body* 30 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm $U = 0.2122 \text{ m.s}^{-1}$, $v = 1.187 \text{ m.s}^{-1}$



Lampiran 15. Fluktuasi temperatur api difusi *annulus jet* dengan pemasangan *Disc bluff body* 30 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm $U = 0.4090 \text{ m.s}^{-1}$, v = 1,187 m.s⁻¹



repo

Lampiran 16. Fluktuasi temperatur api difusi *annulus jet* dengan pemasangan *Disc bluff body* 40 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm $U = 0.2122 \text{ m.s}^{-1}$, $v = 1.187 \text{ m.s}^{-1}$



repo

Lampiran 17. Fluktuasi temperatur api difusi *annulus jet* dengan pemasangan *Disc bluff body* 40 mm pada y = 30 mm, y = 90 mm dan y = 150 mm $U = 0.4090 \text{ m.s}^{-1}$, v = 1,187 m.s⁻¹



Lampiran 18. Harga faktor koreksi C untuk orifis udara aksial

		V saluran			ρ Udara	g	ρ Minyak				A	Q	Q
ΔH	V orifis (m/s)	(m/s)	Р	X	(Kg/m3)	(m/s2)	(Kg/m3)	β	β ²	β ⁴	saluran	aktual(l/s)	aktual(m3/s)
5	8.28594011 <mark>6</mark>	0.920660013	40.95675	1.19308642	1.208	9.81	835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	0.5	0.0005
7.3333333	10.0347718 <mark>1</mark>	1.114974646	60.0699	1.19308642	1.208	9.81	835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	1	0.001
9.6666667	11.5211321 <mark>9</mark>	1.280125799	79.18305	1.19308642	1.208	9.81	835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	1.5	0.0015
13.666667	13.698975 <mark>5</mark>	1.522108389	111.94845	1.19308642	1.208	9.81	835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	2	0.002
18.333333	15.8663673 <mark>6</mark>	1.762929707	150.17475	1.19308642	1.208	9.81	835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	2.5	0.0025
27.333333	19.3732769 <mark>5</mark>	2.152586328	223.8969	1.19308642	1.208	9.81	835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	3	0.003
34	21.6070882 <mark>9</mark>	2.400787588	278.5059	1.19308642	1.208	9.81	835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	3.5	0.0035
43	24.299146 <mark>3</mark>	2.699905145	352.22805	1.19308642	1.208	9.81	835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	4	0.004
53	26.9770665 <mark>2</mark>	2.997451836	434.14155	1.19308642	1.208	9.81	835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	4.5	0.0045
66	30.1043154 <mark>3</mark>	3.344923937	540.6291	1.19308642	1.208	9.81	835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	5	0.005
30	20.2963253 <mark>2</mark>	2.255147258	245.7405	1.19308642	1.208	9.81	- 835	0.33333	0.11111	0.01235	0.002826	5.5	0.0055

Q teori (I/s)	Q teori (m3/s)	Q Aktual Pers	Q Teoritis pers	С	V aktual	masa alir (kg/s)
2.6017852	0.00260178 <mark>5</mark>	0.0007985	0.0027934	0.28585	0.263173	0.000898422
3.1509183	0.00315091 <mark>8</mark>	0.0010764	0.003178089	0.33869	0.377635	0.001289175
3.6176355	0.00361763 <mark>6</mark>	0.0013445	0.003551889	0.37853	0.484567	0.00165422
4.3014783	0.00430147 <mark>8</mark>	0.0017813	0.004167356	0.42744	0.650612	0.002221065
4.9820394	0.00498203 <mark>9</mark>	0.0022545	0.004844956	0.46533	0.820343	0.002800493
6.083209	0.00608320 <mark>9</mark>	0.0030564	0.006028756	0.50697	1.091297	0.00372548
6.7846257	0.00678462 <mark>6</mark>	0.0035564	0.0068012	0.52291	1.25539	0.004285662
7.6299319	0.00762993 <mark>2</mark>	0.0041045	0.007703	0.53284	1.438629	0.004911204
8.4707989	0.00847079 <mark>9</mark>	0.0045425	0.008515	0.53347	1.599052	0.005458855
9.452755	0.00945275 <mark>5</mark>	0.0048428	0.0092716	0.52233	1.747142	0.005964406
6.3730462	0.00637304 <mark>6</mark>	0.003266	0.0063484	0.51446	1.160184	0.003960645



e D C

Lampiran	19.	Harga	faktor	koreksi	С	untuk	orifis	bahan	bakar

ΔH	V orifis	V saluran		47.4	ρ bb		ρ Hg	_	- 2	- 4			Q	Q
(mm)	(m/s)	(m/s)	Р	X	(Kg/m3)	g (m/s2)	(Kg/m3)	β	β²	β⁴	A saluran	A Nozzle	aktual(l/s)	aktual(m3/s)
6	28.59802	4.57568	800.496	1.95757	2.009	9.81	13600	0.4	0.16	0.0256	0.0000785	0.00000314	0.25	0.00025
42	75.66325	12.10612	5603.472	1.95757	2.009	9.81	13600	0.4	0.16	0.0256	0.0000785	0.00000314	0.5	0.0005
80	104.42521	16.70803	10673.280	1.95757	2.009	9.81	13600	0.4	0.16	0.0256	0.0000785	0.00000314	0.75	0.00075
126	131.05259	20.96842	16810.416	1.95757	2.009	9.81	13600	0.4	0.16	0.0256	0.0000785	0.00000314	1	0.001
162	148.59967	23.77595	21613.392	1.95757	2.009	9.81	13600	0.4	0.16	0.0256	0.0000785	0.00000314	1.25	0.00125
208	168.38059	26.94089	27750.528	1.95757	2.009	9.81	13600	0.4	0.16	0.0256	0.0000785	0.00000314	1.5	0.0015
260	188.25522	30.12083	34688.160	1.95757	2.009	9.81	13600	0.4	0.16	0.0256	0.0000785	0.00000314	1.75	0.00175
320	208.85041	33.41607	42693.120	1.95757	2.009	9.81	13600	0.4	0.16	0.0256	0.0000785	0.00000314	2	0.002
386	229.37918	36.70067	51498.576	1.95757	2.009	9.81	13600	0.4	0.16	0.0256	0.0000785	0.00000314	2.25	0.00225
460	250.40285	40.06446	61371.360	1.95757	2.009	9.81	13600	0.4	0.16	0.0256	0.0000785	0.00000314	2.5	0.0025
									MC					

Q teori(l/s)	Q teori(m3/s)	Q Aktual Persm	Q Teoritis persm	С	V bb
0.3591911	0.00035919 <mark>1</mark>	0.00024862	0.000534146	0.4654533	3.167133758
0.9503304	0.0009503 <mark>3</mark>	0.00049558	0.000929822	0.5329837	6.313121019
1.3115806	0.00131158 <mark>1</mark>	0.0007422	0.00134748	0.5508059	9.45477707
1.6460206	0.00164602 <mark>1</mark>	0.00102142	0.001853066	0.5512054	13.01171975
1.8664119	0.00186641 <mark>2</mark>	0.00122518	0.002248742	0.5448291	15.60738854
2.1148602	0.0021148 <mark>6</mark>	0.00146668	0.002754328	0.5325001	18.68382166
2.3644855	0.00236448 <mark>6</mark>	0.0017142	0.00332586	0.5154156	21.83694268
2.6231612	0.00262316 <mark>1</mark>	0.0019662	0.00398532	0.4933606	25.04713376
2.8810025	0.00288100 <mark>3</mark>	0.00220182	0.004710726	0.4674057	28.04866242
3.1450598	0.0031450 <mark>6</mark>	0.0024142	0.00552406	0.4370336	30.75414013



