

**PENGARUH JUMLAH DAN SUDUT ALUR PADA *CENTRAL FUEL*  
*TUBE* BERULIR TERHADAP STRUKTUR DAN KESTABILAN API  
DIFUSI *DOUBLE CONCENTRIC JET FLOW***

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**FAUZAN BAANANTO**

**NIM. 0910620049-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2013**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH JUMLAH DAN SUDUT ALUR PADA *CENTRAL FUEL TUBE* BERULIR TERHADAP STRUKTUR DAN KESTABILAN API  
DIFUSI *DOUBLE CONCENTRIC JET FLOW***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**FAUZAN BAANANTO**  
**NIM. 0910620049-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 04 Desember 2013

**Majelis Penguji**

Skripsi I

Skripsi II

**Francisca Gayuh U.D., ST., MT**  
**NIK. 820919 06 1 2 0259**

**Dr.Eng. Lilis Yuliati, ST.,MT**  
**NIP. 19750702 200003 2 001**

Skripsi III

**Prof. Ir. I.N.G Wardana, M.Eng., Ph.D**  
**NIP. 19590703 198303 1 002**

Mengetahui,  
An. Ketua  
PJS Sekretaris Jurusan Teknik Mesin

**Purnami, ST., MT.**  
**NIP. 19770707 200812 1 005**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH JUMLAH DAN SUDUT ALUR PADA *CENTRAL FUEL TUBE* BERULIR TERHADAP STRUKTUR DAN KESTABILAN API  
DIFUSI *DOUBLE CONCENTRIC JET FLOW***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**FAUZAN BAANANTO**  
**NIM. 0910620049-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D**  
**NIP. 19710321 199802 1 001**

**Khairul Anam, ST., MSc.**  
**NIK. 861127 06 3 1 0032**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya dan Sholawat serta salam semoga selalu diberikan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi dengan judul **PENGARUH JUMLAH DAN SUDUT ALUR PADA *CENTRAL FUEL TUBE* BERULIR TERHADAP STRUKTUR DAN KESTABILAN API DIFUSI *DOUBLE CONCENTRIC JET FLOW*** ini dikerjakan demi memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini bukanlah tujuan akhir dari belajar karena belajar adalah sesuatu yang tidak terbatas.

Terselesaikannya skripsi ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I yang dengan sabar telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis.
2. Bapak Khairul Anam, ST., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan banyak masukan, bimbingan dan saran yang sangat bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Francisca Gayuh U.D., ST., MT, selaku dosen penguji skripsi I yang banyak memeberikan masukan mengenai penulisan dalam skripsi ini.
4. Dr.Eng. Lilis Yuliati, ST.,MT, selaku dosen penguji skripsi II yang banyak memberikan masukan mengenai isi dari skripsi ini.
5. Prof. Ir. Ing Wardana, M.Eng., Ph.D, selaku dosen penguji skripsi III yang juga banyak memberikan masukan mengenai inti dalam skripsi ini.
6. Bapak Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT. selaku Kepala Laboratorium Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem, yang telah banyak memberikan bantuan fasilitas laboratorium dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Alm. Ayah Nursubyakto yang telah memberikan diskusi-diskusi banyak tentang skripsi ini sebelum beliau meninggal dunia.
8. Ibu Asih Widajati, Mas Faris Husnanto, Fardan Barrunanto, dan Farika Yuflih dan keluarga yang telah memberikan dukungan moral dan do'a yang sangat berarti sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

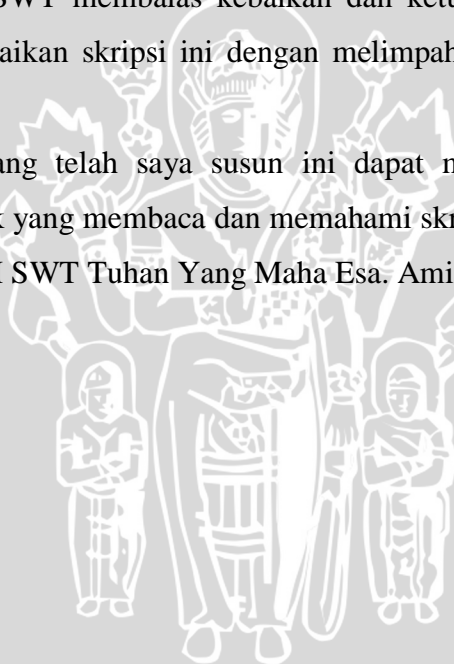
9. Lucky Akbar, selaku *partner* skripsi, asisten Lab. Mesin-mesin Fluida Teknik Mesin FT-UB, yang senantiasa memberikan diskusi teori tentang skripsi ini.
10. Teman-teman angkatan 2009 Teknik Mesin FT-UB “*BLACK MAMBA*” yang telah memberikan dukungan, canda dan tawanya yang sangat berarti bagi penulis.
11. Asisten Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem (Redi, Agus, Wahyu, Puspita, Ilman, Izum, dan Tri)
12. Staf recording jurusan Teknik Mesin FT-UB yang tidak bosan-bosannya melayani penulis dalam menyelesaikan administrasi.
13. Semua pihak yang telah banyak membantu saya dan tidak bias saya sebutkan satu persatu.

Semoga ALLAH SWT membalas kebaikan dan ketulusan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini dengan melimpahkan rahmat dan karunia-Nya.

Semoga skripsi yang telah saya susun ini dapat memberikan manfaat dan kebaikan bagi semua pihak yang membaca dan memahami skripsi ini dan dapat bernilai ibadah di hadapan ALLAH SWT Tuhan Yang Maha Esa. Amin.

Malang, Desember 2013

Penulis



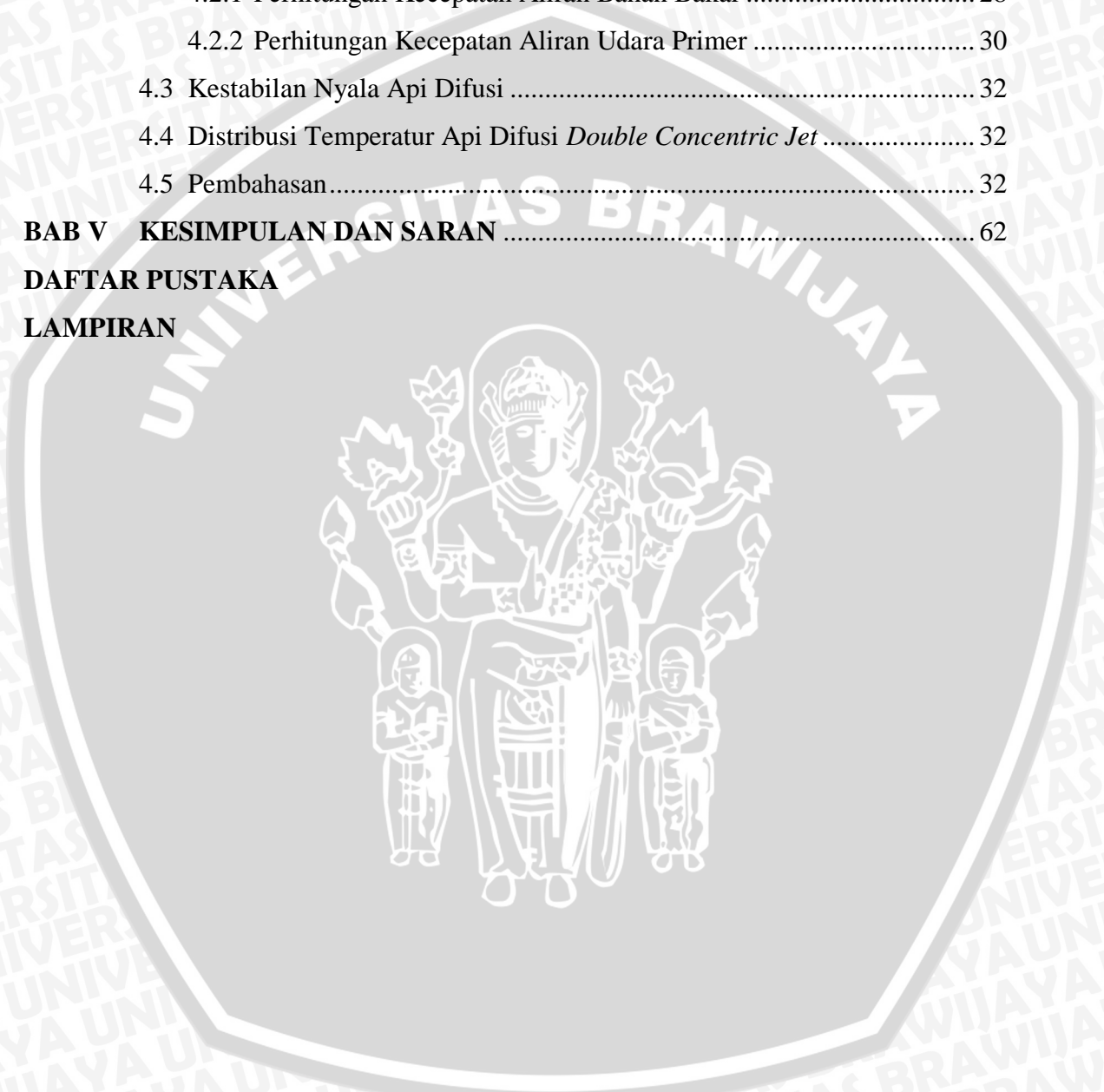
**DAFTAR ISI**

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	viii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>RINGKASAN</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Pembakaran .....	5
2.2 Reaksi Kimia pada Proses Pembakaran .....	6
2.2.1 Metode Penstabilan Api <i>Premixed</i> Turbulen.....	8
2.3 Pembakaran Difusi .....	11
2.3.1 Struktur di dalam Api Difusi .....	11
2.3.2 Panjang Api.....	12
2.3.3 Api Difusi Turbulen.....	13
2.3.4 <i>Lift off</i> dan <i>Blow out</i> .....	14
2.4 Stabilitas Nyala dengan Alur.....	15
2.5 LPG ( <i>Liquified Petroleum Gas</i> ) .....	17
2.6 Hipotesis.....	17
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	18
3.1 Metode Penelitian.....	18
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan .....	18
3.3 Variabel Penelitian .....	18
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	19
3.5 Instalasi Penelitian.....	20
3.6 Peralatan Penelitian .....	21





3.7 Metode Pengambilan Data .....	23
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	25
<b>BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>26</b>
4.1 Data Hasil Penelitian .....	26
4.2 Perhitungan Kecepatan Aliran Bahan Bakar dan Udara Primer .....	26
4.2.1 Perhitungan Kecepatan Aliran Bahan Bakar .....	28
4.2.2 Perhitungan Kecepatan Aliran Udara Primer .....	30
4.3 Kestabilan Nyala Api Difusi .....	32
4.4 Distribusi Temperatur Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> .....	32
4.5 Pembahasan .....	32
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>62</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

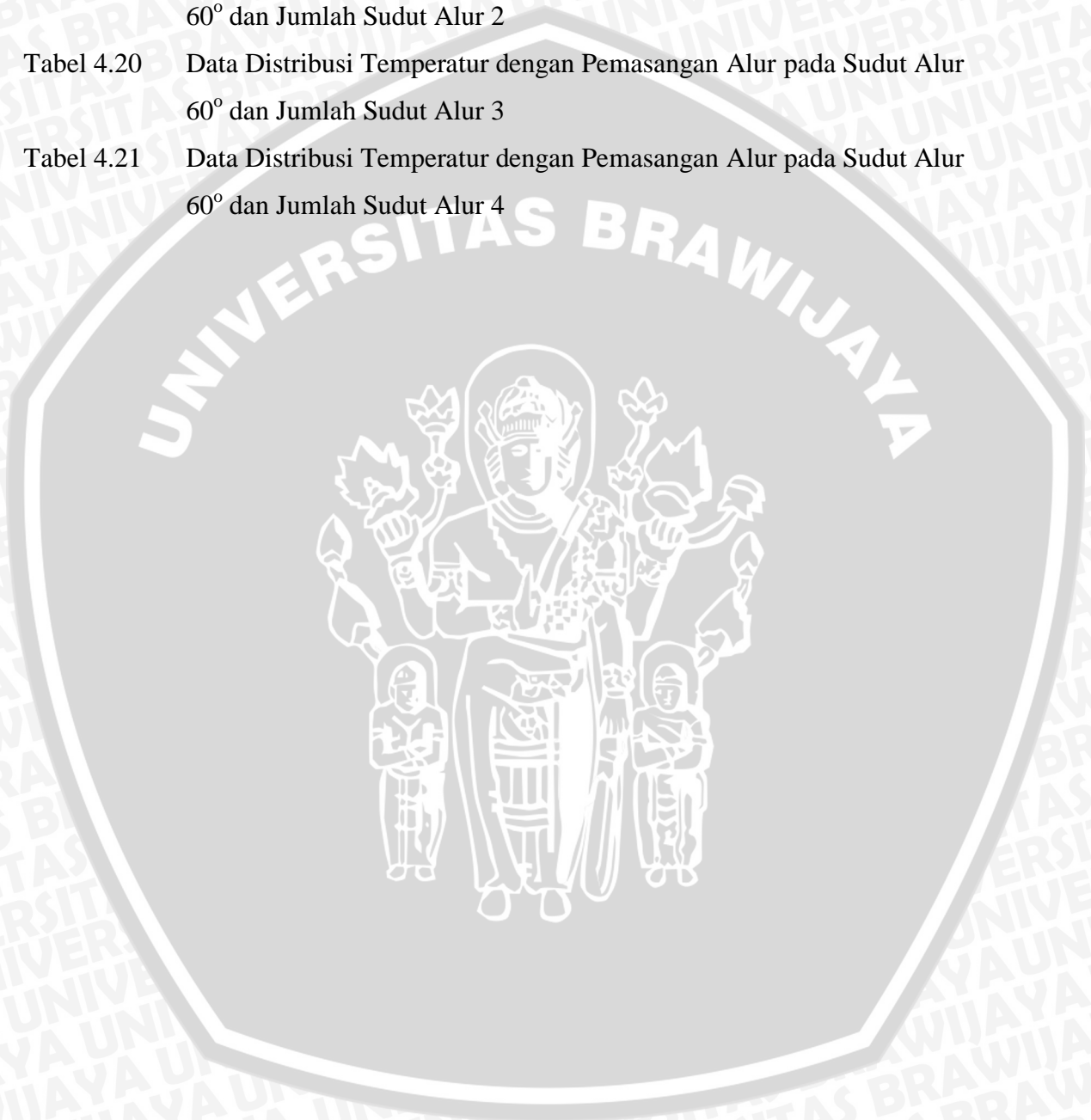
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Jenis pembakaran laminar <i>premixed</i> (kiri) dan difusi (kanan)	8
Gambar 2.2	Pola aliran ruang bakar dengan dinding berlubang	8
Gambar 2.3	Model penstabilan api di daerah sirkulasi balik di belakang penghalang	10
Gambar 2.4	Struktur aliran di belakang bilah pemusar	10
Gambar 2.5	Struktur aliran pada difuser	11
Gambar 2.6	Struktur api difusi	12
Gambar 2.7	Bentuk khas api dari model Burke-Schumann $L_1/L_2 = 0,25$	12
Gambar 2.8	Perubahan panjang api & struktur api difusi dengan bilangan Reynolds	13
Gambar 2.9	Skema <i>lift off</i> pada api difusi <i>jet</i>	14
Gambar 2.10	Kurva Stabilitas <i>blowout</i>	15
Gambar 3.1	Susunan alat penelitian yang lengkap	20
Gambar 3.2	Konfigurasi Burner	21
Gambar 3.3	Blower	22
Gambar 3.4	Anemometer	22
Gambar 3.5	Distribusi Temperatur api difusi	24
Gambar 4.1	Cara pemasangan <i>orifice</i> pada suatu saluran	26
Gambar 4.2	Analisa aliran pada saluran	27
Gambar 4.3	Pemasangan <i>orifice</i> pada saluran aliran bahan bakar	28
Gambar 4.4	(a) Analisa aliran bahan bakar pada manometer bahan bakar (b) Penampang pada <i>central fuel tube</i>	29 29
Gambar 4.5	Pemasangan <i>orifice</i> pada saluran aliran udara primer	30
Gambar 4.6	(a) Analisa aliran udara primer pada manometer udara primer (b) Penampang pada <i>central fuel tube</i>	31 31
Gambar 4.7	Visualisasi api pada berbagai macam variasi tanpa alur dan dengan alur serta jumlah alur <i>central fuel tube</i> pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 2$ m/s, $V_{bb} = 3$ m/s	52
Gambar 4.8	Visualisasi api pada berbagai macam variasi tanpa alur dan dengan alur serta jumlah alur <i>central fuel tube</i> pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 2,7$ m/s, $V_{bb} = 3,6$ m/s	52
Gambar 4.9	Visualisasi api pada berbagai macam variasi tanpa alur dan dengan alur serta jumlah alur <i>central fuel tube</i> pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 3,2$ m/s, $V_{bb} = 4,5$ m/s	53



**DAFTAR TABEL**

No.	Judul
Tabel 2.1	Komposisi Udara Kering
Tabel 2.2	Spesifikasi LPG PERTAMINA
Tabel 4.1	Data Kestabilan Api Tanpa Alur
Tabel 4.2	Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 30° dan Jumlah Sudut Alur 2
Tabel 4.3	Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 30° dan Jumlah Sudut Alur 3
Tabel 4.4	Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 30° dan Jumlah Sudut Alur 4
Tabel 4.5	Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 45° dan Jumlah Sudut Alur 2
Tabel 4.6	Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 45° dan Jumlah Sudut Alur 3
Tabel 4.7	Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 45° dan Jumlah Sudut Alur 4
Tabel 4.8	Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 60° dan Jumlah Sudut Alur 2
Tabel 4.9	Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 60° dan Jumlah Sudut Alur 3
Tabel 4.10	Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 60° dan Jumlah Sudut Alur 4
Tabel 4.12	Data Distribusi Temperatur tanpa Alur
Tabel 4.13	Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 30° dan Jumlah Sudut Alur 2
Tabel 4.14	Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 30° dan Jumlah Sudut Alur 3
Tabel 4.15	Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 30° dan Jumlah Sudut Alur 4
Tabel 4.16	Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 45° dan Jumlah Sudut Alur 2

- Tabel 4.17 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 45° dan Jumlah Sudut Alur 3
- Tabel 4.18 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 45° dan Jumlah Sudut Alur 4
- Tabel 4.19 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 60° dan Jumlah Sudut Alur 2
- Tabel 4.20 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 60° dan Jumlah Sudut Alur 3
- Tabel 4.21 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 60° dan Jumlah Sudut Alur 4



## DAFTAR GRAFIK

No.	Judul	Halaman
Grafik 4.1	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> tanpa alur pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	33
Grafik 4.2	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> tanpa alur pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	33
Grafik 4.3	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> tanpa alur pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	34
Grafik 4.4	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 30° dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	34
Grafik 4.5	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 30° dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	35
Grafik 4.6	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 30° dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	35
Grafik 4.7	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 30° dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	36
Grafik 4.8	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 30° dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	36
Grafik 4.9	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 30° dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	37
Grafik 4.10	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 30° dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	37
Grafik 4.11	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 30° dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	38
Grafik 4.12	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 30° dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	38
Grafik 4.13	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 45° dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	39
Grafik 4.14	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 45° dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	39
Grafik 4.15	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 45° dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	40



Grafik 4.16	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> sudut alur 45° dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	40
Grafik 4.17	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 45° dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	41
Grafik 4.18	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> sudut alur 45° dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	41
Grafik 4.19	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 45° dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	42
Grafik 4.20	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 45° dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	42
Grafik 4.21	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 45° dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	43
Grafik 4.22	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 60° dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	43
Grafik 4.23	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 60° dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	44
Grafik 4.24	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 60° dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	44
Grafik 4.25	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 60° dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	45
Grafik 4.26	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 60° dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	45
Grafik 4.27	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 60° dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	46
Grafik 4.28	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 60° dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	46
Grafik 4.29	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> dengan sudut alur 60° dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	47
Grafik 4.30	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> sudut alur 60° dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	47
Grafik 4.31	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> Stabil – <i>Lift Off</i> pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	48
Grafik 4.32	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> <i>Lift Off</i> – <i>Blow Out</i> pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]	48

Grafik 4.33	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> Stabil – <i>Lift Off</i> pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	49
Grafik 4.34	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> <i>Lift Off</i> – <i>Blow Out</i> pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]	49
Grafik 4.35	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> Stabil – <i>Lift Off</i> pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	50
Grafik 4.36	Kestabilan Api Difusi <i>Double Concentric Jet</i> <i>Lift Off</i> – <i>Blow Out</i> pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]	50
Grafik 4.37	Distribusi Temperatur api Difusi tanpa Alur dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 0,919$ m/s, $V_f = 0,645$ m/s.	54
Grafik 4.38	Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur $30^\circ$ & jumlah alur 2 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 0,919$ m/s, $V_f = 0,645$ m/s.	55
Grafik 4.39	Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur $30^\circ$ & jumlah alur 3 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 0,919$ m/s, $V_f = 0,645$ m/s.	55
Grafik 4.40	Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur $30^\circ$ & jumlah alur 4 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 0,919$ m/s, $V_f = 0,645$ m/s.	56
Grafik 4.41	Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur $45^\circ$ & jumlah alur 2 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 0,919$ m/s, $V_f = 0,645$ m/s.	56
Grafik 4.42	Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur $45^\circ$ & jumlah alur 3 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 0,919$ m/s, $V_f = 0,645$ m/s.	57
Grafik 4.43	Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur $45^\circ$ & jumlah alur 4 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 0,919$ m/s, $V_f = 0,645$ m/s.	57
Grafik 4.44	Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur $60^\circ$ & jumlah alur 2 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 0,919$ m/s, $V_f = 0,645$ m/s.	58
Grafik 4.45	Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur $60^\circ$ & jumlah alur 3 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada $U_s = 0,3$ m/s, $U_p = 0,919$ m/s, $V_f = 0,645$ m/s.	58



- Grafik 4.46 Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur  $60^\circ$  & jumlah alur 4 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 0,919$  m/s,  $V_f = 0,645$  m/s. 59
- Grafik 4.47 Grafik distribusi temperatur pada jarak horizontal -10 [mm] dengan berbagai macam variasi pemasangan alur *central fuel tube* pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 0,919$  m/s,  $V_f = 0,645$  m/s. api difusi *double concentric jet* 59
- Grafik 4.48 Grafik distribusi temperatur pada jarak horizontal 0 [mm] dengan berbagai macam variasi pemasangan alur *central fuel tube* pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 0,919$  m/s,  $V_f = 0,645$  m/s. api difusi *double concentric jet* 60
- Grafik 4.49 Grafik distribusi temperatur pada jarak horizontal 10 [mm] dengan berbagai macam variasi pemasangan alur *central fuel tube* pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 0,919$  m/s,  $V_f = 0,645$  m/s. api difusi *double concentric jet* 60





## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data Kestabilan Api
- Lampiran 2. Data Distribusi Temperatur
- Lampiran 3. Gambar *Central Fuel Tube*
- Lampiran 4. Gambar Penampang Instalasi



## RINGKASAN

**Fauzan Baananto**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2013, Pengaruh Jumlah dan Sudut Alur pada *Central Fuel Tube* Berulir Terhadap Struktur dan Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet*, Dosen Pembimbing : Agung Sugeng Widodo, Khairul Anam.

Dari banyaknya penelitian mengenai pembakaran difusi terutama mengenai kestabilan api dan struktur api, pada beberapa jenis bahan bakar, mekanisme *lift off* dipengaruhi oleh keseimbangan antara kecepatan udara primer dan kecepatan bahan bakarnya. Tujuan dari studi ekperimental ini adalah untuk mengetahui karakteristik *lift off* dan *blow out* terhadap perubahan kecepatan udara sekunder, kecepatan udara primer dan kecepatan bahan bakar dengan pemberian alur pada *central fuel tube*. Selain itu, juga untuk mengetahui geometri api *lift off* dan api stabil, yang dilakukan dengan cara *direct photograph*

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan langsung untuk mencari data sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui karakteristik api difusi *double concentric jet flow* dengan menggunakan *central fuel tube* beralur. *Central fuel tube* yang digunakan yaitu dengan variasi sudut alur  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  dan jumlah alur 2, 3, dan 4.

Dari analisis data yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Daerah kestabilan api difusi *double concentric jet* terbesar terdapat pada pemasangan alur dengan sudut  $45^\circ$  dan jumlah alur 2.
2. Distribusi temperatur rata-rata terbesar terjadi pada pemasangan alur dengan alur dengan sudut  $45^\circ$  dan jumlah alur 2 sebesar  $689,75 [^\circ\text{C}]$  pada  $U_s = 0,3 [m/s]$ ,  $U_p = 0,919 [m/s]$ ,  $V_f = 0,645 [m/s]$ .
3. Semakin kecil jumlah sudut alur yang digunakan pada pemasangan alur, maka semakin luas daerah kestabilan api difusi *double concentric jet*.

**Kata kunci** : *Central fuel tube*, karakteristik api, sudut alur, kecepatan bahan bakar, temperatur

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Lebih dari 95% energi yang dikonsumsi di dunia diperoleh dari proses pembakaran. Oleh sebab itu, efisiensi pada saat proses pembakaran berlangsung merupakan hal yang sangat penting karena sebagian besar proses pembakaran masih menggunakan bahan bakar fosil yang merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbarui.

Pembakaran memegang peran penting hampir di semua aspek kehidupan, mulai dari kehidupan rumah tangga hingga dalam bidang industri dan transportasi sebagai penghasil energi utama. Pembakaran adalah reaksi oksidasi yang terjadi antara bahan bakar dengan udara (oksigen) dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor. Proses ini berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia menjadi energi kalor yang dapat langsung digunakan atau dikonversikan lagi menjadi energi lain, sedangkan bahan bakar didefinisikan sebagai material yang mampu terbakar. Umumnya bahan bakar tersebut mengandung elemen-elemen karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S).

Salah satu jenis pembakaran adalah pembakaran difusi, yaitu apabila bahan bakar dan udara tidak bercampur lebih dulu secara mekanik melainkan bercampur sendiri secara alami dengan proses difusi. Pembakaran difusi dapat dilihat pada berbagai proses pembakaran seperti nyala lilin, api pada korek api dan api kebakaran. Proses pembakaran difusi secara luas digunakan pada sistem pembakaran industri, seperti turbin gas, *boiler* dan *cement clinker* karena alasan keamanan.

Mengingat betapa pentingnya pembakaran dalam bidang rekayasa, maka telah dilakukan berbagai penelitian tentang teknologi pembakaran yang bertujuan untuk memperbaiki unjuk kerja dari proses pembakaran, baik itu dari segi efisiensi maupun hasil prosesnya. Dari segi aerodinamika pembakaran, proses pembakaran akan ditinjau dari aspek aliran, gerakan api, kestabilan nyala dan *transport* fenomena yang terjadi dalam proses pembakaran.



Batas kestabilan api pada umumnya menyatakan batas operasional sistem pembakaran. Ada dua kondisi aliran kritis yang berhubungan dengan kestabilan api, yaitu *lift off* dan *blow out*. Kondisi kritis batas kestabilan itu sebagian besar tergantung pada kondisi geometris *burnernya* dan konfigurasi alirannya. Beberapa kasus lain tergantung pada jenis bahan bakarnya. Dengan menggunakan bahan bakar metan dan bentuk *concentric jet burner*, Takahashi (1990) berhasil membuat diagram kestabilan api dengan kondisi batas *lift off* dan *blow out*.

Meskipun fenomena-fenomena yang terjadi pada kestabilan api difusi telah banyak diteliti pada berbagai macam sistem pembakaran, tetapi masih banyak kesimpangsiuran tentang penyebab terjadi fenomena itu. Oleh karena itu, banyak dilakukan penelitian, yang salah satunya oleh Lee (1994) yang meneliti mengenai efek pengenceran bahan bakar yang berpengaruh terhadap perilaku *lift off* dan *blow out* pada api difusi.

Dari banyaknya penelitian mengenai kestabilan api dan struktur api, pada beberapa jenis bahan bakar, mekanisme *lift off* dipengaruhi oleh keseimbangan antara kecepatan udara primer dan kecepatan bahan bakarnya. Meskipun hal itu banyak menghasilkan pendapat yang berbeda-beda mengenai seberapa besar batasnya, tetapi yang jelas dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan, *lift off* dihasilkan dari pemanjangan api karena regangan api yang tinggi (kecepatan api lebih besar dari pada kecepatan reaktan).

Takahashi (1996) telah menyimpulkan bahwa *lift off* disebabkan oleh pemanjangan api karena adanya intervensi gerakan *vortex* pada pangkal api. Dari beberapa penelitian terdahulu disimpulkan bahwa peristiwa pemanjangan api itu tergantung pada *lip thickness burner*, *diameter burner*, dan bentuk *burnernya*, yaitu kontur nozelnya atau bentuk pipanya.

Banyaknya faktor yang mempengaruhi kestabilan api difusi masih terus diteliti, terutama dengan penggunaan model *combustor* yang berbeda-beda, seperti Takahashi (1995) dengan *double concentric jet flow*-nya yang meneliti mengenai struktur api difusi dengan bahan bakar hidrogen.

Wijayanti (2003) yang meneliti tentang letak nozel pada *burner* sehingga menghasilkan pada posisi nosel di bawah posisi saluran udara primer mempunyai daerah kestabilan terkecil. (Widodo I, 2004) dengan pemasangan *swirling vanes*, yaitu alat yang dipergunakan untuk menimbulkan pusaran pada aliran udara yang dihasilkan dari *blower* yang diaplikasikan pada pembakaran difusi *double concentric* dihasilkan

api difusi yang semakin stabil dibandingkan tanpa adanya pemasangan *swirling vanes*. Daerah kestabilan api difusi terbesar terjadi pada sudut *swirling vanes*  $30^\circ$  dengan posisi peletakan 0 cm pada sumbu y.

Dari penelitian mereka, perlu diteliti lebih lanjut tentang pengaruh variasi jumlah dan sudut alur *central fuel tube* terhadap struktur dan kestabilan api difusi *double concentric jet flow*.

Tujuan dari studi ekperimental ini adalah untuk mengetahui karakteristik *lift off* dan *blow out* terhadap perubahan kecepatan udara sekunder, kecepatan udara primer dan kecepatan bahan bakar dengan pemberian alur pada *central fuel tube*. Selain itu, juga untuk mengetahui geometri api *lift off* dan api stabil, yang dilakukan dengan cara *direct photograph*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

Bagaimana pengaruh jumlah dan sudut alur pada *central fuel tube* berulir terhadap struktur dan kestabilan api difusi *double concentric jet flow* ?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah maka penulis memberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar *Liquified Petroleum Gas* (LPG) produksi Pertamina.
2. Sistem pada pembakaran dianggap *steady state*.
3. Material yang digunakan adalah Alumunium.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lebih lanjut dari pengaruh jumlah dan sudut alur pada *central fuel tube* berulir terhadap struktur dan kestabilan api difusi *double concentric jet flow*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Agar mahasiswa dapat memahami struktur dan kestabilan api difusi akibat penambahan alur pada *central fuel tube*.



2. Dapat diaplikasikan dalam dunia industri yang menggunakan proses pembakaran difusi. (contoh alat : *boiler*, turbin gas, *cement clinker*, dll.)
3. Menjadi dasar penelitian selanjutnya mengenai pembakaran difusi khususnya menggunakan *double concentric jet*.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam suatu teknik pembakaran, keberhasilan pembakaran seperti yang ditunjukkan pada perhitungan secara teoritis sesuai dengan aspek termodinamika pembakaran dipengaruhi langsung oleh bagaimana proses pembakaran itu berlangsung. Pada proses pembakaran bahan bakar gas, perlu diketahui fenomena nyala (*flame*) dan perjalanan nyala (*flame propagation*) sebagai pengetahuan dasar, serta batas nyala (*flammability limits*) suatu senyawa atau campuran gas yang dapat dipergunakan untuk mengetahui apakah suatu senyawa campuran gas dapat terbakar. Keberhasilan pemanfaatan praktis dari suatu sistem pembakaran dipengaruhi langsung oleh proses pembakaran yang terjadi dan karakteristik nyala pembakaran.

### 2.1 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi oksidasi yang terjadi antara bahan bakar dengan 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 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)



Pemberian alur pada *central fuel tube* akan menyebabkan terjadinya ketidakstabilan pada reaktan yang berpengaruh juga terhadap produk pembakaran. Dalam penelitian ini hasil yang diamati adalah kestabilan nyala dan temperatur api difusi *double concentric jet*.

## 2.2 Reaksi Kimia pada Proses Pembakaran

Pembakaran ideal adalah pembakaran yang dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna. Kondisi ini disebut dengan kondisi stokiometri dimana produk pembakaran untuk senyawa hidrokarbon adalah  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{N}_2$  sebagai *inert gas*. Pembahasan akan dibatasi pada proses pembakaran antara bahan bakar hidrokarbon dan oksigen dari udara. Udara memiliki komposisi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut :

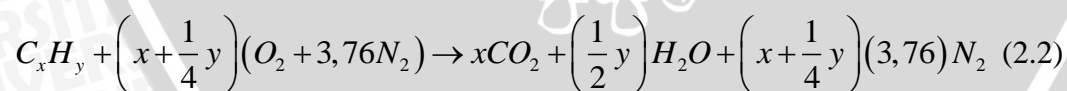
Tabel 2.1 Komposisi Udara Kering

Air	Proportion by volume (%)		Proportion by mass (%)	
	Actual	Use	Actual	Use
Nitrogen	78,03	79	75,45	76,8
Oxigen	20,99	21	23,2	23,2
Argon	0,94	0	1,3	0
CO	0,03	0	0,05	0
Other	0,01	0	<i>negligible</i>	0

Sumber : Milton, 1993: 237

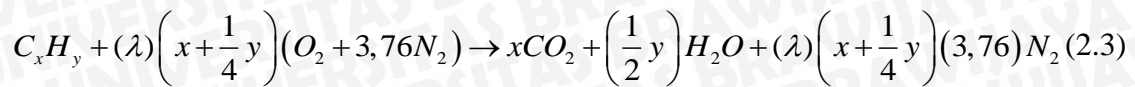
Untuk perhitungan dalam reaksi pembakaran, udara dianggap terdiri dari 21% volume  $\text{O}_2$  dan 79% volume  $\text{N}_2$ , sehingga untuk penggunaan 1 mol  $\text{O}_2$  akan melibatkan penggunaan  $\left(\frac{79,0}{21,0}\right) = 3,76$  mol  $\text{N}_2$ .

Untuk memenuhi pembakaran sempurna, semua C bereaksi menjadi  $\text{CO}_2$  dan semua  $\text{H}_2$  akan bereaksi menjadi  $\text{H}_2\text{O}$ . Reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) dengan udara secara matematis dituliskan sebagai berikut (Wardana, 1995: 21) :



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 ( $\lambda$  x jumlah udara teoritis), persamaan reaksinya akan menjadi :





dengan :

$\lambda$  = 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 :

$$(AFR)_{teoritis} = \left( \frac{m_{udara}}{m_{bahan\ bakar}} \right)_{teoritis} \left[ \frac{kg_{udara}}{kg_{bahan\ bakar}} \right] \quad (\text{Turns, 1996: 19})(2.4)$$

Pada pembakaran stokiometri dengan bahan bakar LPG *Mix* 70% propane dan 30% butane nilai AFRnya adalah 15,567.

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

$$\phi = \frac{\left( \frac{A}{F} \right)_{teoritis}}{\left( \frac{A}{F} \right)_{aktual}} = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{Turns, 1996: 19})(2.5)$$

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 stokiometri

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

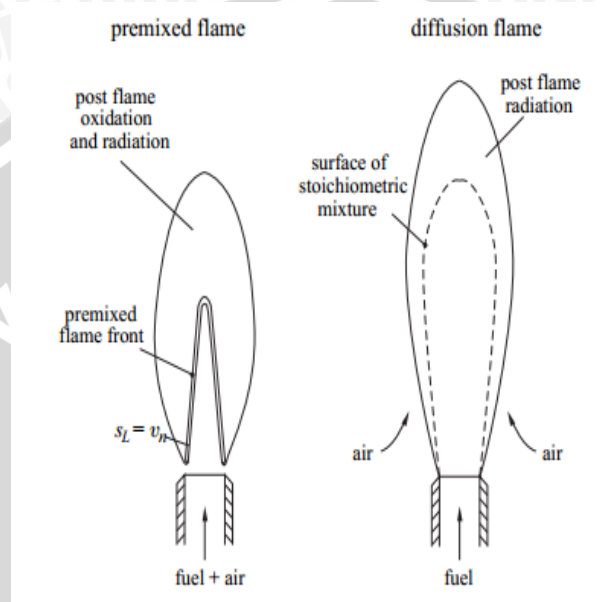
1. Proses pencampuran bahan bakar dengan udara/ oksigen
2. Pemutusan ikatan senyawa hidrokarbon menjadi radikal bebas yang tidak stabil.
3. Oksidasi radikal bebas sehingga membentuk produk pembakaran.

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 adalah keinginan suatu atom untuk mencapai posisi stabil dan diawali dari ketidakstabilan.

Dalam bidang teknik pembakaran terdapat berbagai macam kategori nyala, dan sebagian diantaranya belum sepenuhnya terdefiniskan. Tapi pada dasarnya nyala api itu dapat dikelompokkan menjadi dua kategori nyala berdasarkan metode pencampuran dari reaktan, yaitu nyala api *premixed* dan nyala api difusi.

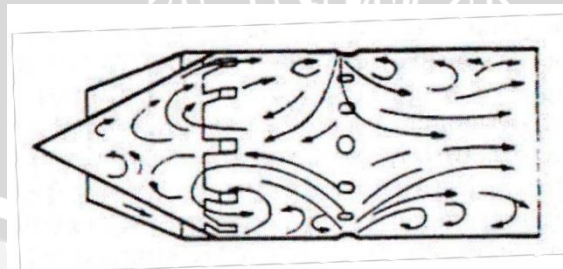


Gambar 2.1 : Jenis pembakaran laminar *premixed* (kiri) dan difusi (kanan)  
Sumber : Peters, 2010: 6

### 2.2.1 Metode Penstabilan Api *Premixed* Turbulen

Beberapa teknik atau metode yang dipakai untuk mengendalikan api *premixed* turbulen adalah

#### 1. Dinding berlubang



Gambar 2.2 : Pola aliran ruang bakar dengan dinding berlubang  
Sumber : Wardana, 2008: 179

Dengan teknik ini, udara sebelum menerpa api, terlebih dahulu dilewatkan dinding berlubang banyak. Dengan demikian kecepatan aliran akan menurun drastis setelah melewati dinding dan gerakannya berputar-putar secara turbulen. Aliran yang

berpusar dengan kecepatan rendah membuat api menjadi stabil karena dua alasan. Pertama, kecepatan rambat api laminer untuk kebanyakan bahan bakar hidrokarbon adalah sekitar 0,1 m/s dan meningkat menjadi sekitar 30 kali lipat yakni menjadi 3 sampai 5 m/s pada keadaan turbulen. Umumnya kecepatan udara pengoksidasi pada peralatan rekayasa seperti kebanyakan dijumpai di industri atau di dalam turbin gas jauh melampaui kecepatan tersebut. Jadi dengan melewati aliran melalui dinding berlubang maka kecepatan udara menurun di bawah batas kecepatan api turbulen. Alasan kedua adalah aliran berpusar memiliki kemampuan pengadukan yang jauh lebih tinggi sehingga percampuran terjadi sangat efektif dan membuat pembakaran menjadi lebih sempurna. Jadi percampuran yang bagus dan kecepatan di bawah batas kecepatan maksimum membuat api turbulen menjadi stabil di belakang dinding berlubang. Ilustrasi aliran melalui dinding berlubang adalah seperti gambar 2.2.

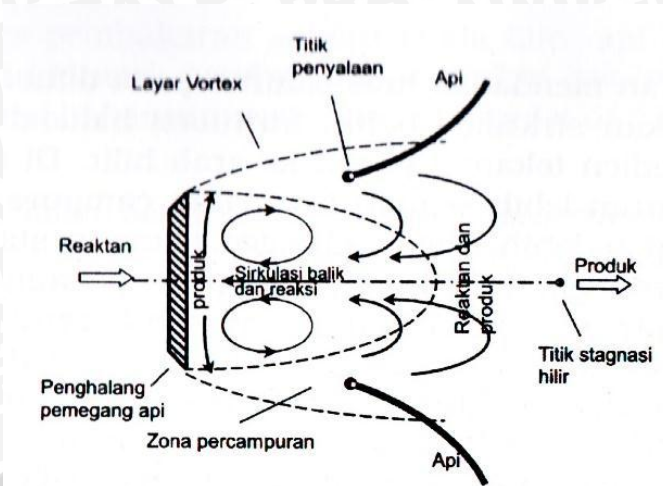
## 2. Dengan Penghalang (*bluffy-body*)

Dengan penghalang, disamping kecepatan reaktan turun drastis juga terbentuk sirkulasi balik reaktan di belakang penghalang. Kedua proses ini membuat api stabil dan menempel di penghalang. Karena kejadian ini maka penghalang juga biasa disebut pemegang api. Gambar 2.3 adalah mekanisme penyetabilan api dibelakang penghalang. Penghalang akan membentuk vortex sehingga elemen reaktan akan berpusar-pusar dengan waktu singgah lebih lama di daerah sirkulasi balik dengan persamaan.

$$t_s = 30 \frac{d}{v} \quad (2.6)$$

Dimana  $d$  adalah diameter penghalang dan  $v$  adalah kecepatan reaktan. Waktu singgah adalah 30 kali lebih lama dibandingkan waktu singgah aliran pada saluran biasa. Pertukaran massa antara yang berada di daerah sirkulasi balik dan aliran utama terjadi akibat gas baru masuk dari belakang dan gas lama hasil pembakaran (produk) terdorong ke luar di dekat penghalang. Sekarang jika kita menyalakan campuran di daerah sirkulasi balik akan terbentuk zona stabil bertemperatur tinggi yang menyalakan campuran segar di dekat penghalang dan secara terus menerus diisi oleh produk atau sebagian reaktan dari zona pembakaran.



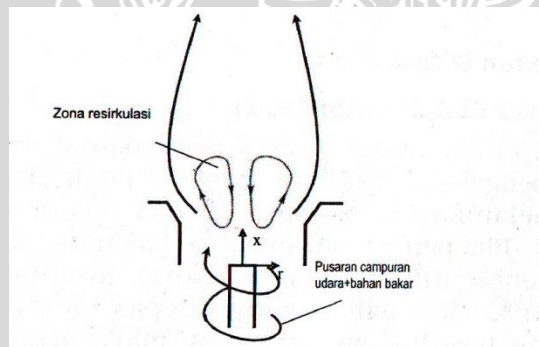


Gambar 2.3 : Model penstabilan api di daerah sirkulasi balik di belakang penghalang

Sumber : Wardana, 2008: 181

### 3. Swirl (bilah pemusar)

Ketika aliran melintasi bilah pemusar maka gerakannya akan membentuk spiral. Gerakan ini pada kecepatan tertentu dapat menginduksi sirkulasi balik seperti ditunjukkan pada gambar 2.4. Dengan sirkulasi balik maka kestabilan api akan terjadi dengan mekanisme seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 : Struktur aliran di belakang bilah pemusar

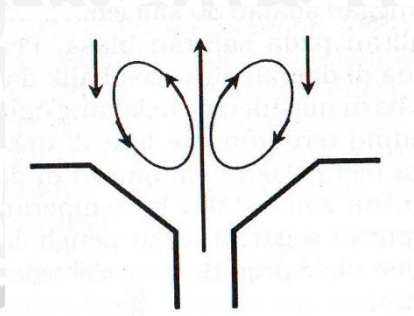
Sumber : Wardana, 2008: 181

### 4. Difuser

Peningkatan mendadak luas saluran pada difuser juga dapat menciptakan sirkulasi balik. Sirkulasi balik disini terjadi akibat gradien tekanan positif ke arah hilir. Di sebelah hulu (pada saluran lebih sempit) kecepatan campuran udara dan bahan bakar lebih tinggi sehingga tekanan statiknya lebih rendah sedangkan disebelah hilir pada penampang saluran lebih besar kecepatan campuran lebih rendah sehingga tekanan statiknya lebih tinggi akibatnya terjadi aliran balik dari tekanan lebih tinggi di hilir menuju ke tekanan lebih rendah di sebelah hulu, sementara aliran utama karena dua



arah aliran yang berlawanan ini terbentuk pusaran atau sirkulasi balik yang disebutkan di awal seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 : Struktur aliran pada difuser  
Sumber : Wardana, 2008: 182

Pembangkitan zona sirkulasi balik yang kuat dari gas panas hasil reaksi menuju mulut nosel didapat :

1. Membakar reaktan.
2. Menghadirkan zona dimana kecepatan api *turbulen* sesuai dengan kecepatan aliran setempat.

## 2.3 Pembakaran Difusi

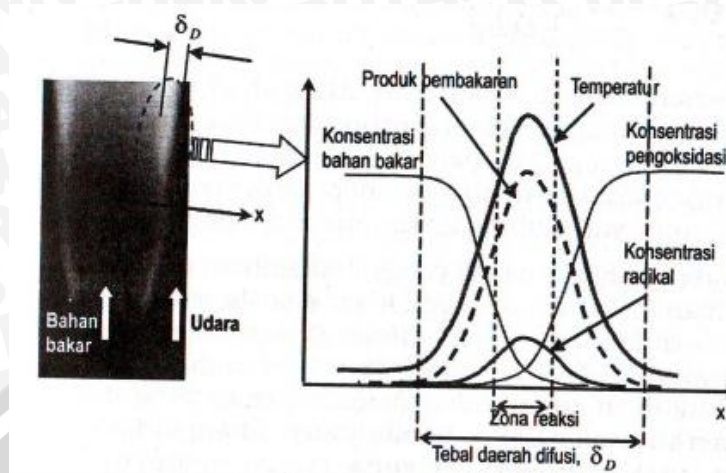
### 2.3.1 Struktur di dalam Api Difusi

Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan pengoksidasi (udara atau  $O_2$ ) tidak dicampur secara mekanik, melainkan bercampur sendiri secara alami dengan proses difusi. Jika pencampuran bahan bakar dan udara (oksigen) dengan proses difusi ini mencapai kondisi mendekati stokiometri, dan panas yang dilepas oleh api di daerah pencampuran tersebut sudah cukup maka pembakaran akan berlangsung. Proses pembakaran difusi ini bisa kita jumpai pada berbagai proses pembakaran seperti nyala lilin, api kebakaran, pembakaran di industri, pembakaran turbin gas, pembakaran mesin disel, pembakaran mesin-mesin propulsi dan banyak lagi yang lainnya

Api difusi dalam bentuknya yang paling sederhana terdiri dari zona reaksi eksotermis yang memisahkan pengoksidasi dan bahan bakar gas. Oleh karena itu, dia tidak memiliki karakter kecepatan perambatan. Akan tetapi sifat api difusi jelas sekali tergantung pada situasi aerodinamika aliran. Oleh karena itu, perilaku api difusi tidak bisa dijelaskan tanpa melibatkan aerodinamika.

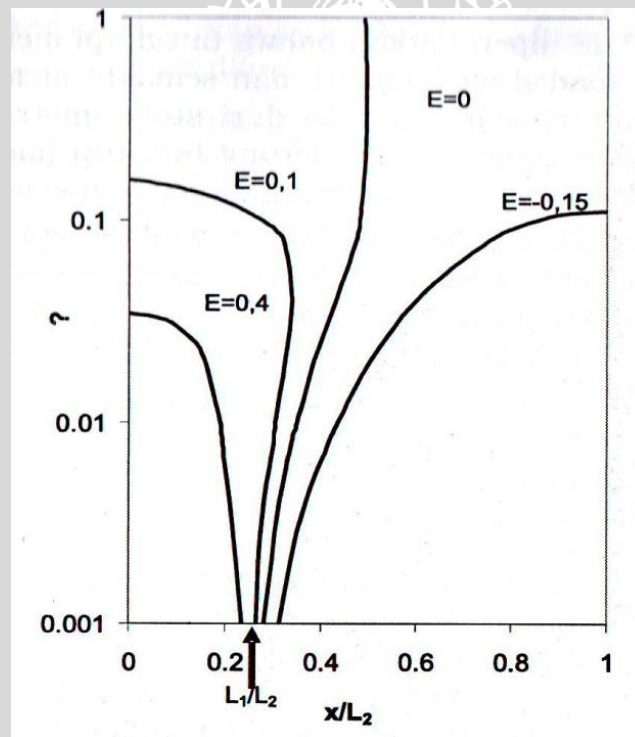
Untuk bisa memahami proses pembakaran difusi maka struktur api difusi dapat dilihat pada gambar 2.6. Pada sisi nozel sebelah kiri mengalir bahan bakar sedangkan pada sisi sebelah kanan (di luar nozel) mengalir pengoksidasi (udara atau oksigen).

Bidang pembatas antara bahan bakar dan oksigen (udara) setelah keluar dari saluran merupakan bidang difusi di mana terjadi reaksi dan permukaan api terbentuk.



Gambar 2.6 : Struktur api difusi  
Sumber : Wardana, 2008: 183

### 2.3.2 Panjang Api



Gambar 2.7 : Bentuk khas api dari model Burke-Schumann  $L_1/L_2 = 0,25$   
Sumber : Wardana, 2008: 189

Pada gambar 2.7 diperlihatkan bahwa tinggi api mencapai nilai tertinggi pada kondisi stokiometri, dan semakin memendek jika campuran reaktan semakin jauh dari stokiometri. Pada api campuran miskin ujung api cenderung tertutup (mengkuncup) sedangkan pada campuran kaya ujung api cenderung terbuka. Dari variabel  $\xi = \gamma \pi^2 D / v(L_2)^2$  nampak bahwa panjang api berbanding lurus dengan aliran massa

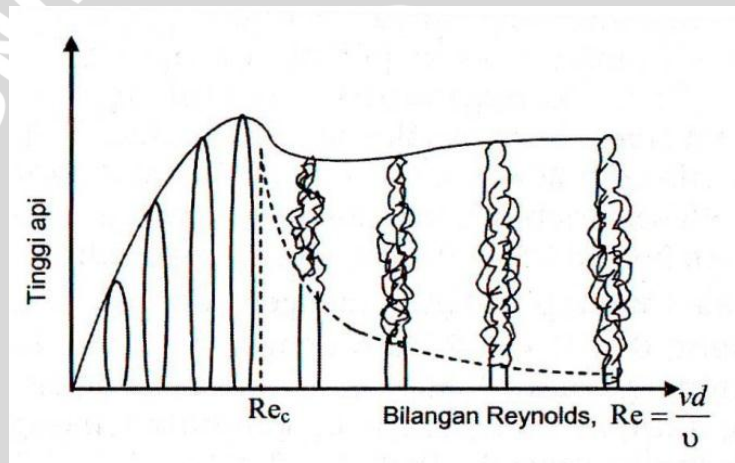


bahan bakar ( $v$ ) dan berbanding terbalik dengan difusivitas molekuler ( $D$ ). Secara lebih rinci panjang api difusi diuraikan oleh Chomaic (1990) untuk nozel berbentuk silinder sebagai berikut :

$$l = \frac{R_1^2 v Y_{fo}}{4DY_{fs}} \left( 1 - \frac{Y_{fs}}{2Y_{fo}} \right) \quad (2.7)$$

Di samping ditentukan oleh kecepatan aliran atau laju aliran massa ( $v$ ) dan difusivitas molekuler ( $D$ ), panjang api juga ditentukan oleh fraksi bahan bakar pada permukaan api ( $Y_{fs}$ ) dan fraksi bahan bakar pada sumbu nozel ( $Y_{fo}$ ). Semakin besar konsentrasi bahan bakar di sumbu nozel juga membuat api semakin panjang dan sebaliknya. Semakin besar fraksi stokiometri  $Y_{fs}$  semakin panjang api sebab semakin banyak udara yang disuplai untuk setiap kilogram bahan bakar.

### 2.3.3 Api Difusi Turbulen



Gambar 2.8 : Perubahan panjang api & struktur api difusi dengan bilangan Reynolds

Sumber : Wardana, 2008: 190

Gambar 2.8 menjelaskan tentang perubahan aliran api difusi *jet* laminar 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 laminar. Panjang api laminar 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 laminar menjadi turbulen. Panjang api laminar akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kecepatan *jet* bahan bakar dan panjang api turbulen akan mengalami kenaikan seiring dengan



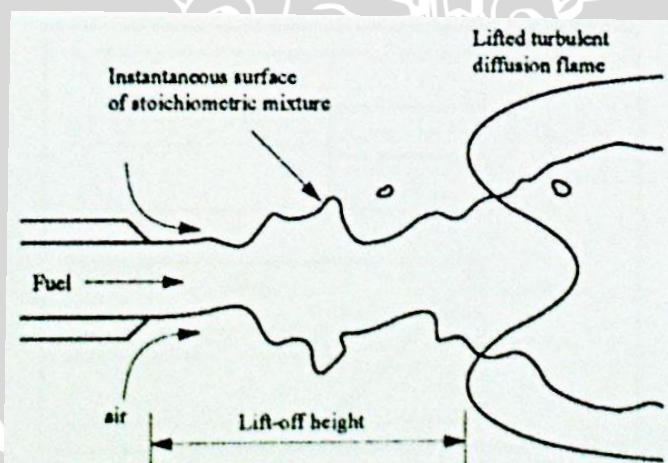
peningkatan kecepatan *jet* bahan bakarnya, kemudian panjang api total akan menurun karena kecepatan pengadukan api yang turbulen.

Nyala api (*flame*) adalah daerah tempat terjadinya reaksi pembakaran. Nyala api dibatasi oleh permukaan nyala (*flame front*), yaitu permukaan yang membatasi gas yang terbakar dan tidak terbakar. Pada proses pembakaran difusi, kestabilan nyala memegang peranan yang sangat penting. Api dikatakan stabil apabila terjadi api stasioner pada kedudukan tertentu saat kecepatan gas reaktan sama dengan kecepatan produk, dalam hal ini rambatan api.

### 2.3.4 *Lift off* dan *Blow out*

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 out*. Kondisi kritis kestabilan ini sangat tergantung pada konfigurasi alirannya. Pada aliran *jet* bahan bakar berkecepatan rendah, kondisi api adalah laminar, kemudian bila kecepatan aliran ditingkatkan, aliran akan berada pada kondisi turbulen.

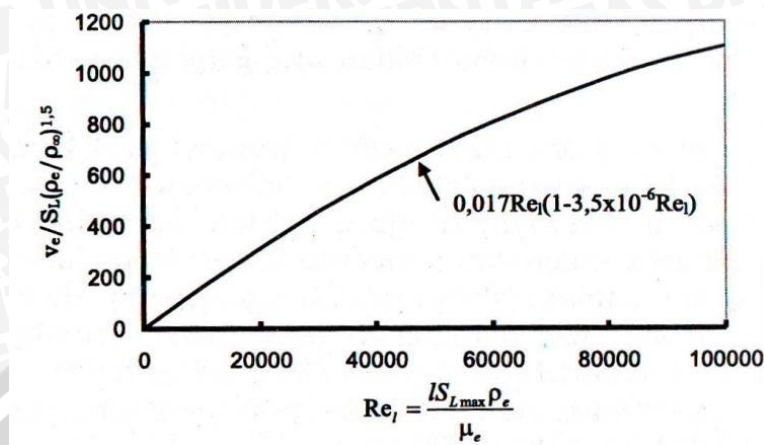
Kondisi *lift off* pada penelitian ini didefinisikan sebagai suatu kondisi api yang terjadi saat api mulai tidak menempel pada mulut nozel (Gambar 2.9). Hal ini terjadi karena kecepatan api lebih kecil dari kecepatan gas reaktan, sehingga api akan bergerak menjauhi mulut nozel.



Gambar 2.9 : Skema *lift off* pada api difusi *jet*  
Sumber : Peters, 1997: 95

Panjang *lift off* adalah jarak antara mulut nozel dan pangkal api. Panjang *lift off* akan meningkat seiring dengan penambahan kecepatan *jet* bahan bakar sampai api mengalami *blow out* (kondisi api menjadi padam setelah mengalami *lift off*). *Blow out*

dapat terjadi bila api difusi telah melewati batas kritis *lift off*. *Lift off* dan *blow out* merupakan kondisi yang harus dihindari dalam proses pembakaran.



Gambar 2.10 : Kurva Stabilitas *blowout*  
Sumber : Wardana, 2008: 192

Pemasangan alur (alur yang dipasang pada *central fuel tube*) pada aliran udara akan menghasilkan suatu aliran yang bersirkulasi, sehingga akan berpengaruh terhadap kecepatan gas reaktan dari proses pencampuran antara bahan bakar dan udara. Hal ini akan merubah aliran dari fluida yang melewati alur dari laminar menjadi turbulen, sehingga bidang kontak antar reaktan menjadi semakin luas, akibatnya batas *lift off* dan *blow out* 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.

#### 2.4 Stabilitas Nyala dengan Alur

Alur adalah alur yang dipasang pada *central fuel tube* yang dihasilkan dari *blower*. Alur dipergunakan dalam pembakaran untuk meningkatkan kestabilan api. Setelah melewati alur, aliran udara akan membentuk zona resirkulasi yang mengakibatkan proses pencampuran bahan bakar dan udara semakin homogen.

Selain itu, alur 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 terjadi



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, kecepatan pembakaran juga akan meningkat.

Intensitas pembakaran untuk aliran yang bersirkulasi dipengaruhi oleh derajat *swirl* yang dipasang di dalam aliran. Derajat dari *swirl* tersebut ditunjukkan oleh *swirl number* ( $S$ ), sebagai berikut :

$$S = \frac{(11-a^3)}{(31-a^2)} \tan\theta \quad (2.8)$$

Dengan :

$a = r_1/r_2$

$r_1$  = jari-jari lingkaran dalam *swirl*

$r_2$  = jari-jari lingkaran luar *swirl*

$\phi$  = sudut alur

Derajat *swirl* mengakibatkan terjadinya peningkatan ketebalan batas-batas *jet flow*. Lilley (1997) menyatakan bahwa semakin tinggi derajat *swirl*, maka tekanan ke arah radial akan menguat menjauhi mulut nozel, sehingga akan menggeser zona resirkulasi mendekati mulut nozel, akibatnya api akan mengalami penebalan ke arah radial dan pemendekan ke arah aksial.

Semakin besar sudut alur 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. Sudut alur akan membagi aliran fluida menjadi skala (*scale*) yang lebih kecil, sehingga akan berpengaruh terhadap struktur permukaan nyala.

Pada  $2300 \leq Re$  (bilangan Reynolds)  $\geq 6000$ , 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 *transport* 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 laminar yang *smooth* menjadi bentuk lipatan-lipatan



pada permukaan nyala. 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.

## 2.5 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

Dalam penelitian ini bahan bakar yang digunakan adalah LPG (*Liquified Petroleum Gas*) produksi Pertamina dengan mengikuti Keputusan Dijen Migas No.25 K/36/DDJM/1990 tanggal 14 Mei 1990 tentang Spesifikasi Bahan Bakar Gas Elpiji untuk Keperluan Dalam Negeri pada tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Spesifikasi LPG PERTAMINA

TEST	MIN	MAX	METHOD
<i>Spesific Gravity at 60/60 °F</i>	<i>To be reported</i>	<i>To be reported</i>	ASTM D-1657
<i>Vapour Pressure 100 °F</i>	-	120	ASTM D-1267
<i>Weathering Test 36 °F, %vol</i>	95	-	ASTM D-1837
<i>Copper Corrosion 1 hr, 100 °F</i>	-	No.1	ASTM D-1838
<i>Total Sulfur, grains/ 100 cuft</i>		15	ASTM D-2784
<i>Water Content</i>	<i>No Free Water</i>	<i>No Free Water</i>	<i>Visual</i>
<i>Composition</i>			ASTM D-2163
	-	0.2	
	97.5	-	
	-	2.0	
<i>Ethyl or Buthyl mercaptan added, ml/ 100 AG</i>	50	50	

Sumber : [http://gasdom.pertamina.com/produk\\_dan\\_services\\_elpiji\\_spesifikasi.aspx](http://gasdom.pertamina.com/produk_dan_services_elpiji_spesifikasi.aspx)

## 2.6 Hipotesis

Dari uraian di atas dapat diambil suatu hipotesis bahwa semakin besar sudut dan semakin banyak jumlah alur yang digunakan, maka resirkulasi pada aliran udara yang dihasilkan dari *blower* juga semakin besar, campuran bahan bakar dan udara menjadi semakin homogen, sehingga akan menghasilkan pembakaran yang semakin baik, akibatnya kestabilan nyala dan distribusi temperatur pada api difusi *double concentric jet* akan meningkat.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan langsung untuk mencari data sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh jumlah dan sudut alur pada *central fuel tube* berulir terhadap struktur dan kestabilan api difusi *double concentric jet flow*.

### 3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Mei 2013 – November 2013.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti, nilainya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari objek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebas dalam penelitian adalah :

- Kecepatan bahan bakar : 1,1-50 m/s
- Kecepatan udara primer : 1,5 – 15,4 m/s.
- Kecepatan udara sekunder : 0,3; 0,6; 0,9 m/s
- Sudut alur : 30°, 45°, 60°
- Jumlah alur : 2, 3, 4

#### 2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah :

- Kestabilan api difusi
- Karakteristik *lift off* dan *blow out*
- Distribusi temperatur



### 3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pelaksanaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari hal-hal yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan.

#### 2. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk studi terhadap peralatan-peralatan yang diperlukan dalam penelitian.

#### 3. Persiapan Alat

Persiapan alat dimulai dengan mempersiapkan pipa aluminium silindris untuk pembuatan *central fuel tube*, pipa pvc untuk saluran udara primer dan saluran udara sekunder, pembuatan manometer (kertas grafik, *orifice*, dan selang kecil).

#### 4. Perancangan Instalasi

Perancangan instalasi dimulai dengan pemasangan alat-alat yang telah dibuat, *central fuel tube*, pemasangan pipa udara primer dan udara sekunder pada ruang bakar, dan katup pengatur.

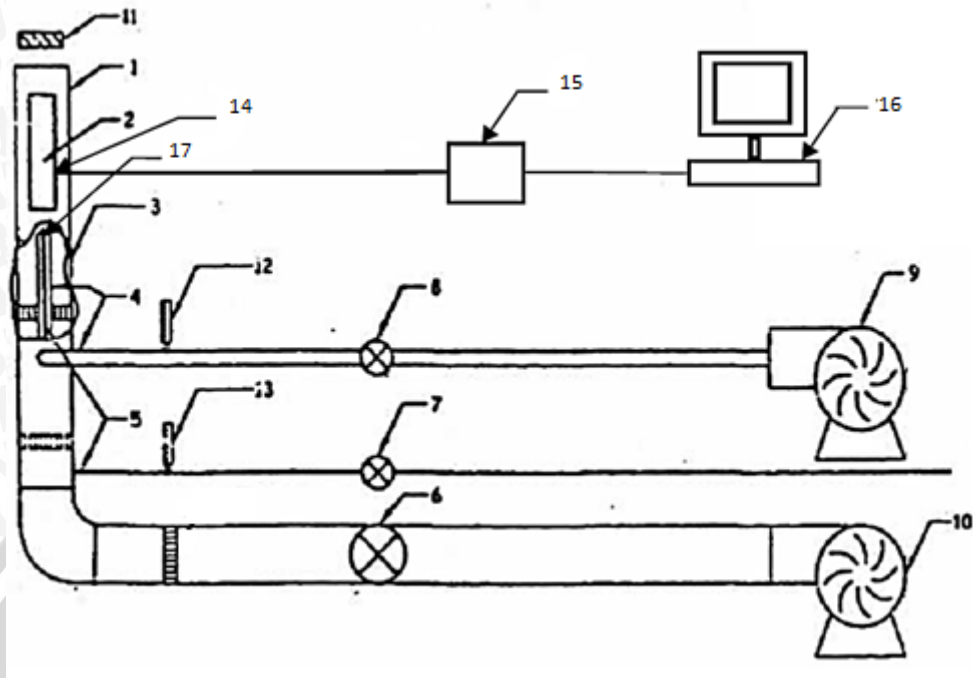
#### 5. Pengambilan Data

Pengambilan data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah kecepatan udara primer, kecepatan udara sekunder, dan kecepatan bahan bakar. Untuk setiap variasi jumlah *central fuel tube* dan sudut alurnya dilakukan sebanyak 3 kali pengambilan data.

#### 6. Pengolahan dan Pembahasan

Setelah data-data yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah pengolahan data dengan cara perhitungan dengan rumus untuk mendapatkan pendekatan masing-masing nilai kecepatan. Kemudian nilai-nilai tersebut dibentuk menjadi suatu grafik kemudian dilakukan pembahasan.

### 3.5 Instalasi Penelitian

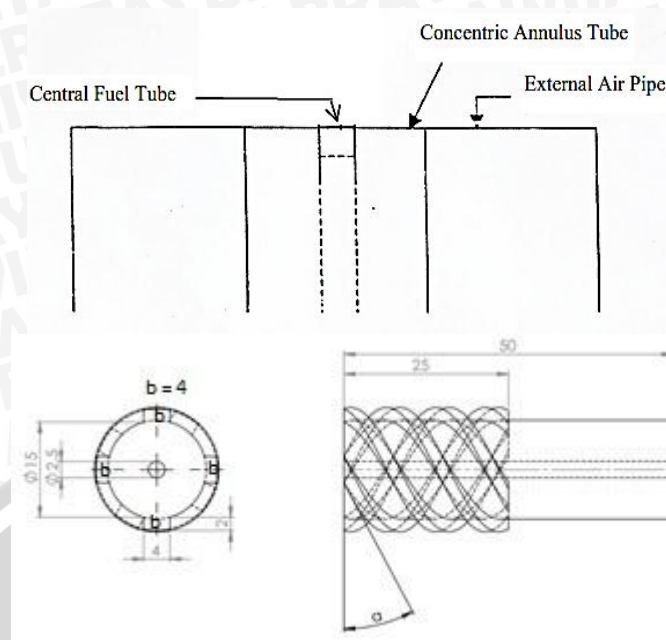


Gambar 3.1 : Susunan alat penelitian

Keterangan:

1. Chamber (ruang bakar)
2. Lubang Pengamatan (50 x 20 cm)
3. Saluran Udara Sekunder ( $\text{Ø} = 4 \text{ in} = 101,6 \text{ mm}$ )
4. Saluran Udara Primer ( $\text{Ø} = 1 \text{ in} = 25,4 \text{ mm}$ )
5. Saluran Bahan Bakar ( $\text{Ø} = 2,5 \text{ mm}$ )
6. Katup Pengatur Suplai Udara Sekunder
7. Katup Pengatur Suplai Bahan Bakar
8. Katup Pengatur Suplai Udara Primer
9. Blower udara primer
10. Blower udara sekunder
11. Anemometer angin
12. Manometer udara primer
13. Manometer bahan bakar
14. Thermocouple
15. Analog to digital converter (ADC)
16. Komputer
17. Nozel Bahan Bakar





Keterangan :  $\alpha$  = sudut ulir  
 $b$  = jumlah ulir  
 Gambar 3.2 : Konfigurasi Burner

### 3.6 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

#### 1. Ruang Bakar

Digunakan sebagai tempat berlangsungnya reaksi pembakaran, berbentuk balok dengan ukuran 30 cm x 20 cm x 90 cm.

#### 2. Kaca Pengamatan

Digunakan untuk melakukan pengamatan terhadap api difusi yang terjadi selama penelitian berlangsung. Kaca pengamatan berukuran 20 x 50 cm.

#### 3. Saluran udara primer

Berfungsi mengalirkan udara sekunder ke ruang bakar. Saluran yang digunakan berdiameter 4 inci.

#### 4. Saluran udara sekunder

Berfungsi mengalirkan udara primer ke ruang bakar. saluran yang digunakan berdiameter 1 inci

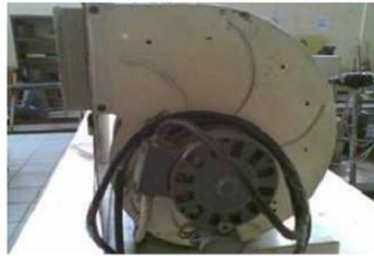
#### 5. Saluran bahan bakar

Berfungsi mengalirkan bahan bakar ke ruang bakar. Nozel yang digunakan berdiameter 2,5 mm.

#### 6. Katup pengatur suplai udara sekunder

Berfungsi untuk mengatur kapasitas udara sekunder yang akan digunakan.

7. Katup pengatur suplai bahan bakar  
Berfungsi untuk mengatur kapasitas bahan bakar yang akan digunakan
8. Katup pengatur suplai udara primer  
Berfungsi untuk mengatur kapasitas udara primer yang akan digunakan
9. Blower udara primer  
Digunakan untuk mensuplai udara primer saat pembakaran.



Gambar 3.3 : Blower  
Sumber : Laboratorium Fluida Universitas Brawijaya

Spesifikasi motor blower :

Tipe	: U 7181 No 7076-2977
Model	: 4C 668A
Daya	: 1/6 Hp
Putaran Max	: 1600 RPM
Voltase	: 115/230 V
Frekuensi	: 50-60 Hz
Ampere	: 2,6 – 1,3 A

10. Blower udara sekunder

Digunakan untuk mensuplai udara sekunder saat pembakaran.

11. Anemometer



Gambar 3.4 : Anemometer  
Sumber : Starmeter instrument co.,ltd. 2009

Anemometer digunakan untuk mengetahui kecepatan aliran udara sekunder dari blower. Dalam penelitian digunakan kecepatan angin dalam satuan m/s.

Spesifikasi Anemometer :

<i>Measuring Range</i>	: -10~45° C
<i>Wind Speed Measuring Range</i>	: 0.3~30m/s ° C/° F Selection
<i>Accuracy of Wind speed</i>	: ± 5%
<i>Resolution</i>	: 0.1m/s 0.2° C
<i>Measuring unit</i>	: m/s, Ft/min Knots, Km/hr, Mph



#### 12. Manometer Saluran Udara Primer

Digunakan untuk mengukur beda tekanan pada *orifice* saluran udara primer untuk mengetahui debit udara dari blower.

#### 13. Manometer Saluran Bahan Bakar

Digunakan untuk mengukur beda tekanan pada *orifice* saluran bahan bakar untuk mengetahui debit bahan bakar.

#### 14. Termokopel

Termokopel ini digunakan untuk membaca perubahan temperatur dari api yang terbentuk.

Spesifikasi	: Tipe K
Bahan	: Nickel Chromium
Kemampuan	: Temperatur maksimum 1250°

#### 15. Analog to Digital Converter (ADC)

Alat ini digunakan untuk mengkonversikan sinyal tegangan dari sensor menjadi sinyal digital agar dapat diterima oleh komputer.

#### 16. Komputer

Digunakan untuk membaca dan merekam sinyal dari rangkaian termokopel yang telah dikonversikan oleh ADC.

#### 17. Nozel Bahan Bakar

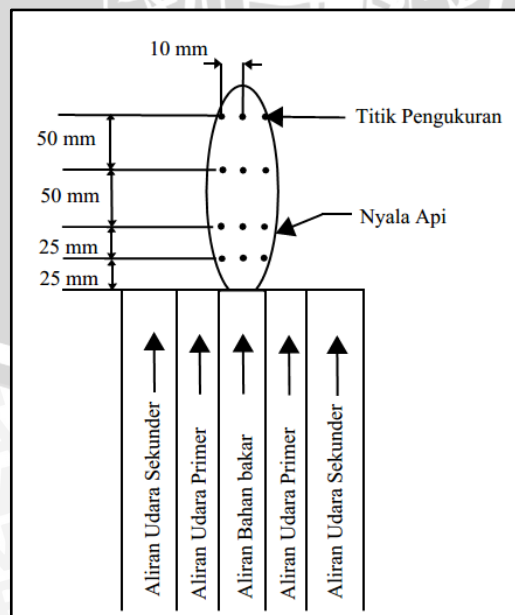
Berfungsi untuk menyembrotkan bahan bakar ke ruang bakar. Nozel yang digunakan berdiameter 2,5 mm dengan jumlah lubang 1 buah. Dengan variasi sudut  $\alpha_1 = 30^\circ$ ,  $\alpha_2 = 45^\circ$ ,  $\alpha_3 = 60^\circ$ ; jumlah alur 2, 3, dan 4. (Gambar terlampir)

### 3.7 Metode Pengambilan Data

Untuk mendapatkan data penelitian yang diinginkan, maka langkah-langkah yang dilakukan adalah :

- a) Untuk mengetahui kestabilan api difusi :
  1. Mempersiapkan semua peralatan yang diperlukan.
  2. Menghidupkan *blower* dengan bukaan katup pengatur pada kecepatan aliran tertentu
  3. Membuka katup pengatur bahan bakar pada kecepatan aliran tertentu
  4. Menyalakan api pada saat kondisi tersebut

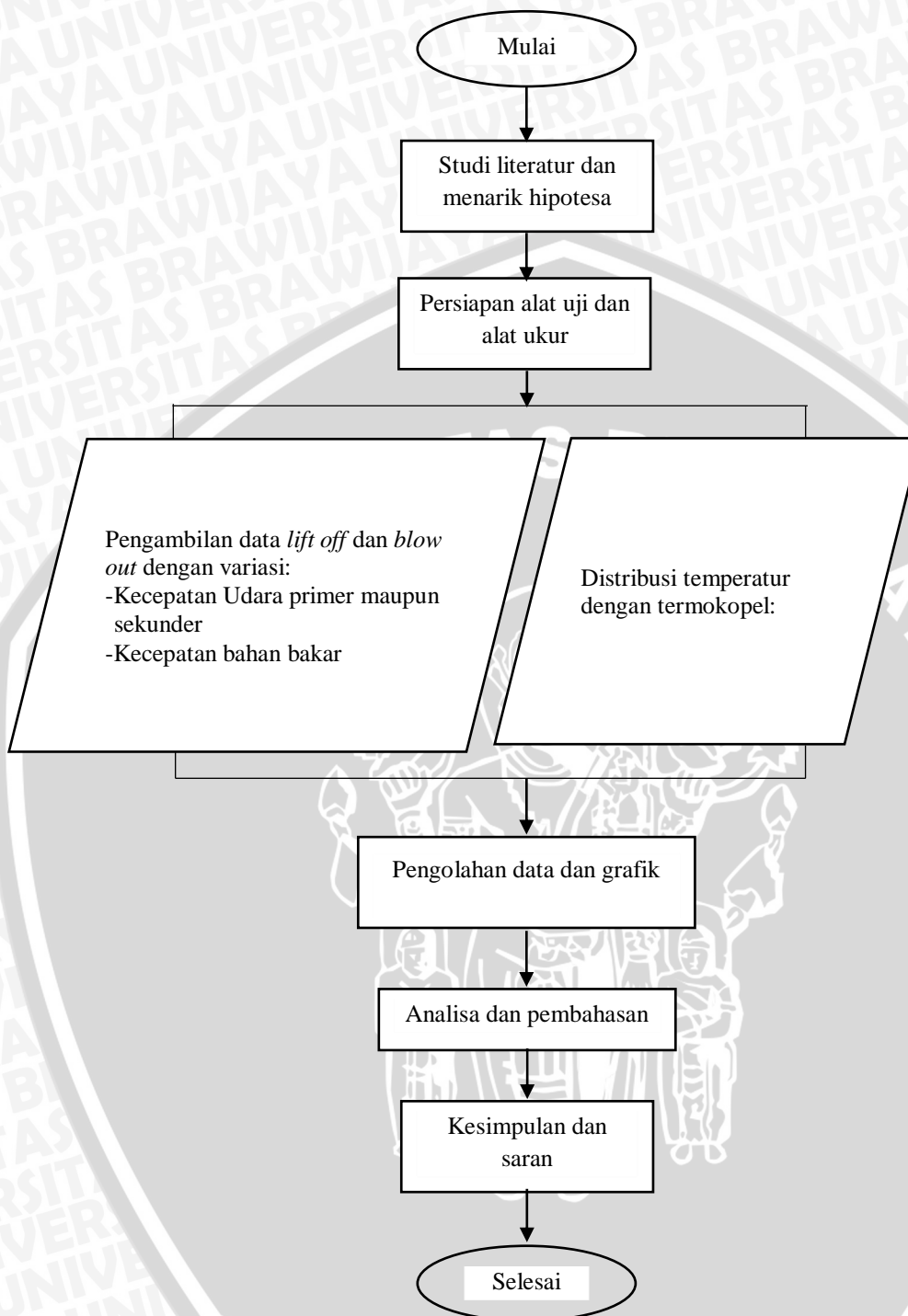
5. Memperbesar aliran bahan bakar (massa alir udara primer dan udara sekunder adalah konstan) sampai terjadi *lift off* dan dilanjutkan sampai api menjadi *blow out*.
  6. Mengambil gambar nyala api difusi pada kondisi tertentu untuk mengetahui fenomena yang terjadi dengan bantuan kamera digital.
  7. Memperbesar aliran udara dan melakukan langkah 3 sampai 5 hingga data yang diperlukan terpenuhi.
  8. Melakukan langkah 1 sampai 7 dengan sudut dan jumlah alur *central fuel tube* yang berbeda.
- b) Untuk mengetahui distribusi temperatur :
1. Mempersiapkan semua peralatan yang diperlukan.
  2. Menghidupkan *blower* dengan bukaan katup pengatur udara primer pada kecepatan aliran tertentu
  3. Membuka katup pengatur bahan bakar pada kecepatan aliran tertentu
  4. Menyalakan api pada saat kondisi tersebut
  5. Mengambil data temperatur api difusi dalam arah horizontal tiap 10 cm dan arah vertikal (25 cm, 50 cm, 150 cm dan 200 cm) pada saat kondisi tersebut dengan menggunakan *thermocouples* dan perangkat komputer. Data yang diambil dilakukan pengulangan sebanyak 3 data setiap titik pengukuran.
  6. Mematikan api dan melakukan langkah 2 sampai 5 dengan sudut dan jumlah alur *central fuel tube* yang berbeda.



Gambar 3.5 : Distribusi Temperatur api difusi



### 3.8 Diagram Alir Penelitian



## BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

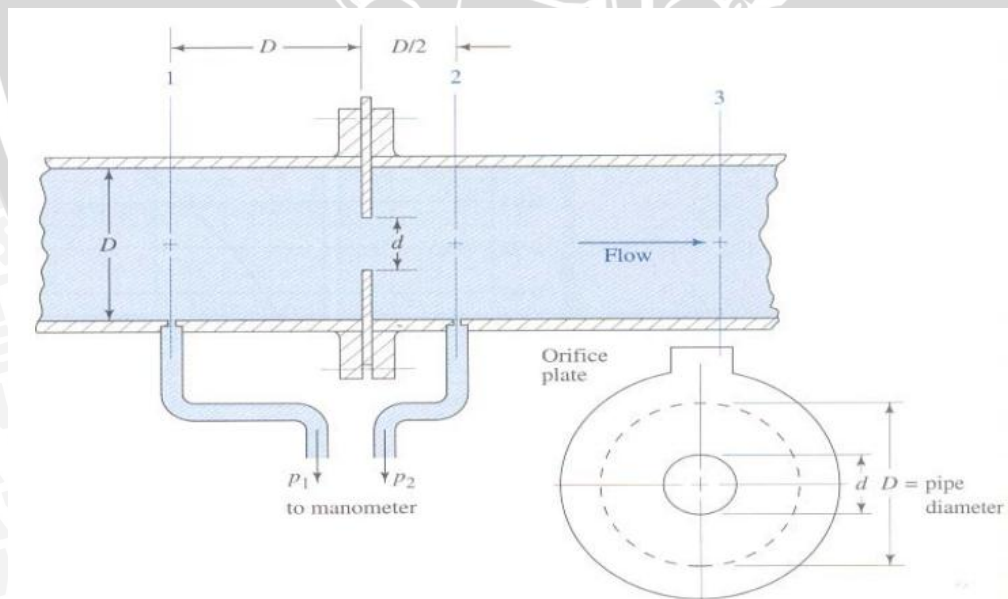
### 4.1 Data Hasil Penelitian

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan data yang berupa kecepatan aliran udara yang mana diukur dengan *orifice* udara, kecepatan aliran udara sekunder yang diukur menggunakan anemometer, dan kecepatan aliran bahan bakar yang diukur dengan *orifice* bahan bakar. Data kecepatan aliran udara primer, kecepatan aliran udara sekunder, dan kecepatan aliran bahan bakar diplot dalam grafik kestabilan api. Selain data-data kecepatan aliran udara dan kecepatan aliran bahan bakar juga didapatkan visualisasi dari api itu sendiri yang berupa *burned gas* (nyala). Untuk visualisasi dilakukan dengan menggunakan kamera digital.

Dari data-data visualisasi didapatkan karakteristik api pada berbagai kondisi sehingga dapat diketahui fenomena yang terjadi pada api difusi dan untuk mengetahui ketidakstabilan api difusi (*lift off*). Visualisasi ini juga bertujuan untuk mengetahui *mixing* aliran akibat dari penambahan alur pada saluran udara primer.

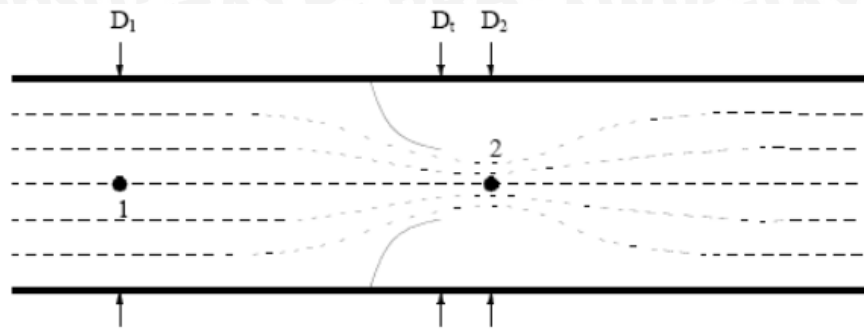
### 4.2 Perhitungan Kecepatan Aliran Bahan Bakar dan Udara Primer

Penurunan Persamaan Bernoulli untuk mendapatkan pendekatan nilai kecepatan pada suatu aliran dengan menggunakan alat ukur manometer.



Gambar 4.1 : Cara pemasangan *orifice* pada suatu saluran





Gambar 4.2 : Analisa aliran pada saluran

Menghitung kecepatan aliran pada saluran dengan pendekatan persamaan Bernoulli dan hukum kontinuitas :

Persamaan Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (1)$$

Hukum Kontinuitas

$$\begin{aligned} v_1 A_1 &= v_2 A_2 \\ v_1 &= v_2 \frac{A_2}{A_1} \end{aligned} \quad (2)$$

perbandingan diameter saluran dan diameter *orifice* pada saluran

$$\frac{d_2}{d_1} = \beta \rightarrow \frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi/4(d_2)^2}{\pi/4(d_1)^2} = \beta^2 \quad (3)$$

substitusi persamaan (2) ke persamaan (3)

$$v_1 = v_2 \beta^2 \quad (4)$$

substitusi persamaan (4) ke persamaan (1)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{(v_2 \beta^2)^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (5)$$

ketinggian pipa dianggap sama, maka

$$z_1 = z_2 \quad (6)$$

substitusi persamaan (6) ke persamaan (5)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{(v_2 \beta^2)^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\frac{v_2^2 - v_2^2 \beta^4}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$\frac{v_2^2 (1 - \beta^4)}{2g} = \frac{\Delta P}{\gamma}$$

$$v_2^2 = \frac{2g \Delta P}{\gamma(1 - \beta^4)}$$

dimana,

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\Delta P = \rho_m g \Delta h$$

$\rho_m$  = massa jenis fluida di manometer

$\rho$  = massa jenis fluida yang mengalir di saluran

maka,

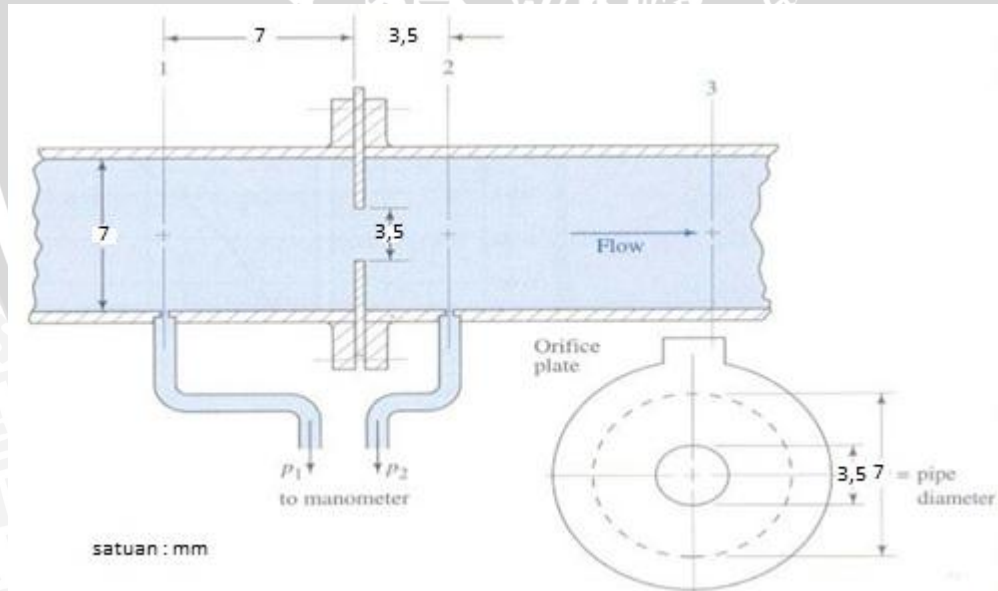
$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \Delta P}{\gamma(1 - \beta^4)}}$$

Data yang diketahui untuk menghitung kecepatan aliran bahan bakar dan kecepatan aliran udara primer, antara lain :

- Massa jenis Air ( $\rho_{\text{air}}$ ) : 996,512 [kg/m<sup>3</sup>]
- Massa jenis Udara ( $\rho_{\text{udara}}$ ) : 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]
- Massa jenis LPG ( $\rho_{\text{LPG}}$ ) : 2,009 [kg/m<sup>3</sup>]
- Percepatan gravitasi (g) : 9,8 [m/s<sup>2</sup>]
- Diameter saluran bahan bakar ( $D_1$ ) : 0,007 [m]
- Diameter *orifice* bahan bakar ( $D_2$ ) : 0,0035 [m]
- Diameter saluran udara primer ( $D_3$ ) : 0,0254 [m]
- Diameter *orifice* udara ( $D_4$ ) : 0,015 [m]

#### 4.2.1 Perhitungan Kecepatan Aliran Bahan Bakar

Contoh perhitungan kecepatan aliran bahan bakar :



Gambar 4.3 : Pemasangan *orifice* pada saluran aliran bahan bakar

1. Perbandingan diameter saluran dan diameter *orifice* ( $\beta_2$ ) pada saluran aliran bahan bakar

$$\beta_2 = \frac{D_2}{D_1} = \frac{0,0035}{0,007} = 0,5$$



2. Kecepatan aliran bahan bakar pada *orifice*, ketika kondisi manometer menunjukkan  $\Delta h = 20$  [mm]

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\rho_{air}g\Delta h}{\rho_{LPG}(1-\beta_2^4)}}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \times 996,512 \times 9,81 \times 0,02}{2,009(1-(0,5)^4)}} \text{ [m/s]}$$

$$v_2 = 14,4 \text{ [m/s]}$$

3. Luas permukaan saluran aliran bahan bakar pada *orifice*

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4}$$

$$A_2 = \frac{3,14 \times (3,5)^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]}$$

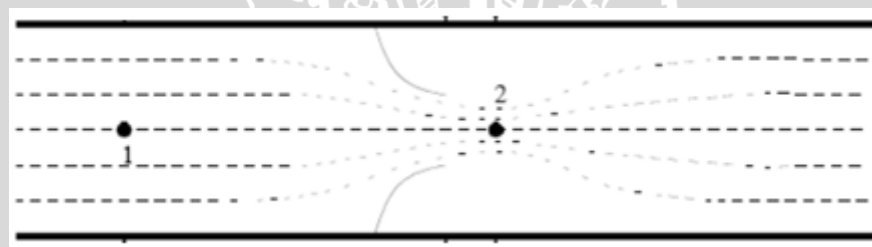
$$A_2 = 9,62 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

4. Debit aliran bahan bakar pada *orifice*

$$Q_2 = v_2 \times A_2$$

$$Q_2 = 14,4 \times 9,62 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_2 = 138,47 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{/s]}$$



(a)



(b)

Gambar 4.4 : (a) Analisa aliran bahan bakar pada manometer bahan bakar  
(b) Penampang pada *central fuel tube*

5. Luas penampang saluran aliran bahan bakar ( $A_5$ ) pada *central fuel tube* (yang diarsir) dengan diameter saluran bahan bakar ( $D_5 = 2,5$  [mm])

$$A_5 = \frac{\pi D_5^2}{4}$$

$$A_5 = \frac{3,14 \times (2,5)^2}{4} [\text{mm}^2]$$

$$A_5 = 4,91 \times 10^{-6} [\text{m}^2]$$

6. Kecepatan aliran bahan bakar pada *central fuel tube* dengan pendekatan persamaan Hukum Kontinuitas

$$Q_2 = Q_5$$

$$v_2 A_2 = v_5 A_5$$

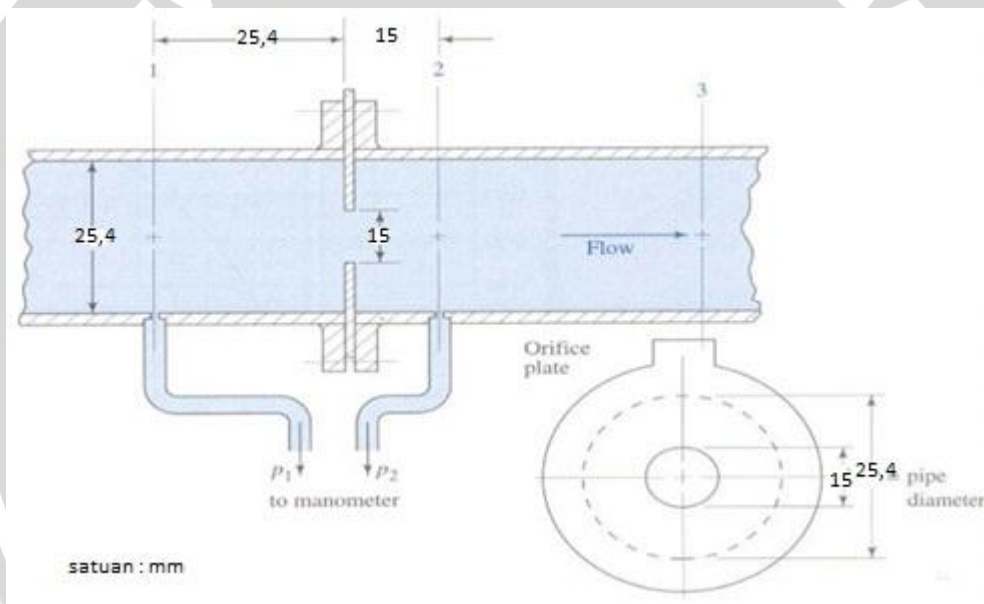
$$v_5 = \frac{v_2 A_2}{A_5}$$

$$v_5 = \frac{14,4 \times 9,62 \times 10^{-6}}{4,91 \times 10^{-6}} [\text{m/s}]$$

$$v_5 = 28,2 [\text{m/s}]$$

#### 4.2.2 Perhitungan Kecepatan Aliran Udara Primer

Contoh perhitungan kecepatan aliran udara primer :



Gambar 4.5 : Pemasangan *orifice* pada saluran aliran udara primer

1. Perbandingan diameter saluran dan diameter *orifice* ( $\beta_4$ ) pada saluran udara primer

$$\beta_4 = \frac{D_4}{D_3} = \frac{0,015}{0,0254} = 0,59$$

2. Kecepatan aliran udara primer pada *orifice*, ketika kondisi manometer menunjukkan  $\Delta h = 20$  [mm]

$$v_4 = \sqrt{\frac{2\rho_{\text{air}}g\Delta h}{\rho_{\text{udara}}(1-\beta_4^4)}}$$

$$v_4 = \sqrt{\frac{2 \times 996,512 \times 9,81 \times 0,02}{1,2(1-(0,59)^4)}} [\text{m/s}]$$

$$v_4 = 19,3 [\text{m/s}]$$

3. Luas permukaan saluran aliran udara primer pada *orifice*



$$A_4 = \frac{\pi D_4^2}{4}$$

$$A_4 = \frac{3,14 \times (15)^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]}$$

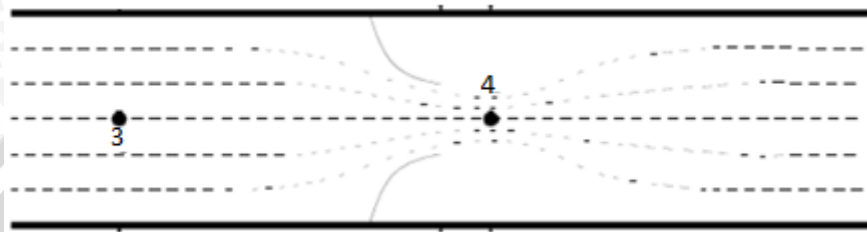
$$A_4 = 176,63 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

4. Debit aliran udara primer pada *orifice*

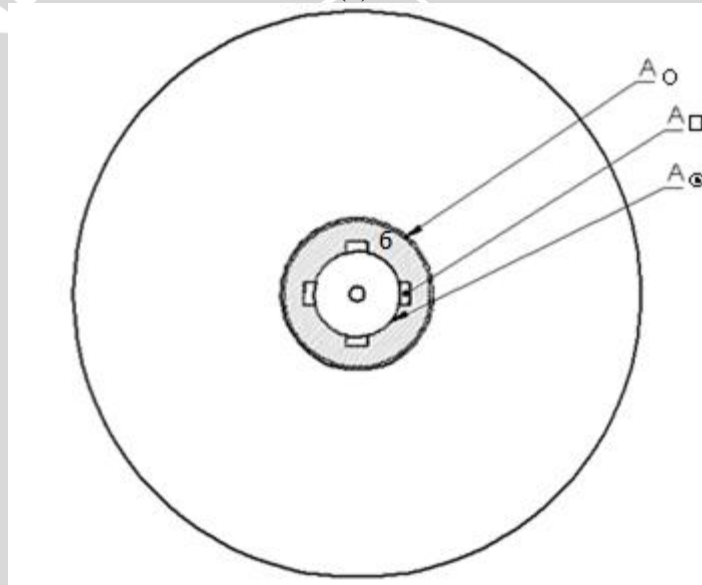
$$Q_4 = v_4 \times A_4$$

$$Q_4 = 19,3 \times 176,63 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_4 = 3408,86 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{/s]}$$



(a)



(b)

Gambar 4.6 : (a) Analisa aliran udara primer pada manometer udara primer

(b) Penampang pada *central fuel tube*

5. Luas penampang saluran aliran udara primer ( $A_6$ ) pada *central fuel tube* (yang diarsir, dengan

$$D_o = 25,4 \text{ [cm]}; D_6 = 15 \text{ [cm]}; p_6 = 4 \text{ [cm]}; l_6 = 2 \text{ [cm]}$$

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

$$A_6 = \frac{\pi D_6^2}{4}$$

$$A_4 = p \times l$$

$$A_4 = 4 \times 2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_o = \frac{3,14 \times (25,4)^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_6 = \frac{3,14 \times (15)^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_4 = 8 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_o = 506,45 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_6 = 176,625 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

pada jumlah alur 4

$$A_6 = A_o - A_6 - 4A_4$$

$$A_6 = (506,45 - 176,625 - 32) \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_6 = 297,83 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

6. Kecepatan aliran udara primer pada *central fuel tube* dengan pendekatan persamaan hukum Kontinuitas

$$Q_4 = Q_6$$

$$v_4 A_4 = v_6 A_6$$

$$v_6 = \frac{v_4 A_4}{A_6}$$

$$v_6 = \frac{19,3 \times 176,63 \times 10^{-6}}{297,83 \times 10^{-6}} \text{ [m/s]}$$

$$v_6 = 11,44 \text{ [m/s]}$$

### 4.3 Kestabilan Nyala Api Difusi

#### 4.3.1 Data Penelitian

Data yang diperoleh (terlampir) merupakan nilai data setelah dilakukan pengulangan pengambilan data sebanyak 3 (tiga). Dengan cara perhitungan yang ditunjukkan pada subbab 4.2, maka kestabilan api *double concentric jet* tanpa alur maupun dengan alur dengan sudut yang telah ditentukan dapat ditunjukkan pada tabel (terlampir). Data tersebut merupakan kecepatan teoritis (pendekatan dengan persamaan Bernoulli dan Hukum Kontinuitas), dimana nilainya lebih besar dibandingkan dengan kecepatan sebenarnya.

#### 4.3.2 Visualisasi Api

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

### 4.4 Distribusi Temperatur Api Difusi *Double Concentric Jet*

#### 4.4.1 Data Penelitian

Untuk tiap titik pengamatan diperoleh data temperatur (terlampir) yang ditampilkan dalam plot grafik temperatur. Dari data temperatur diambil nilai rata-ratanya, sehingga dapat diketahui distribusi temperatur yang tertinggi.

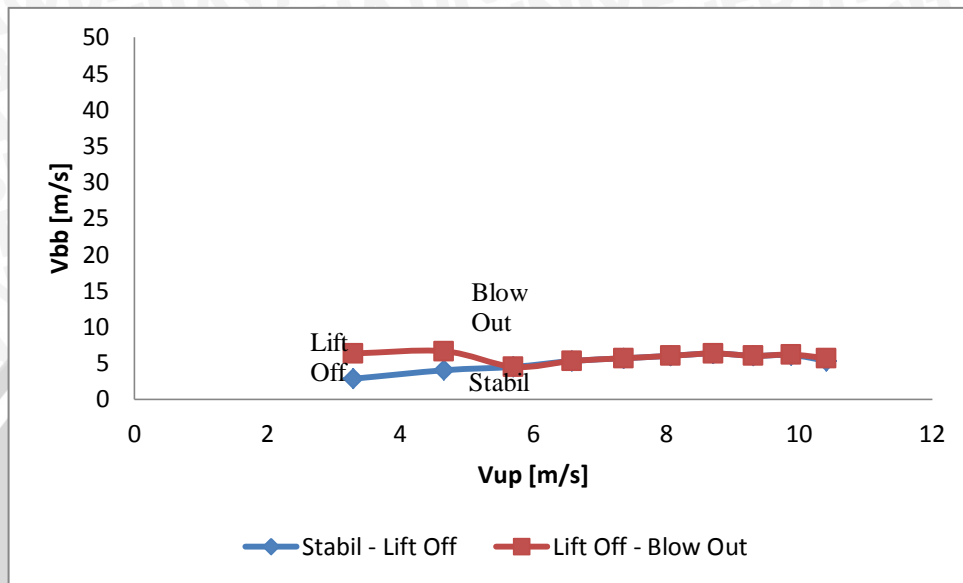
### 4.5 Pembahasan

#### 4.5.1 Diagram Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet*

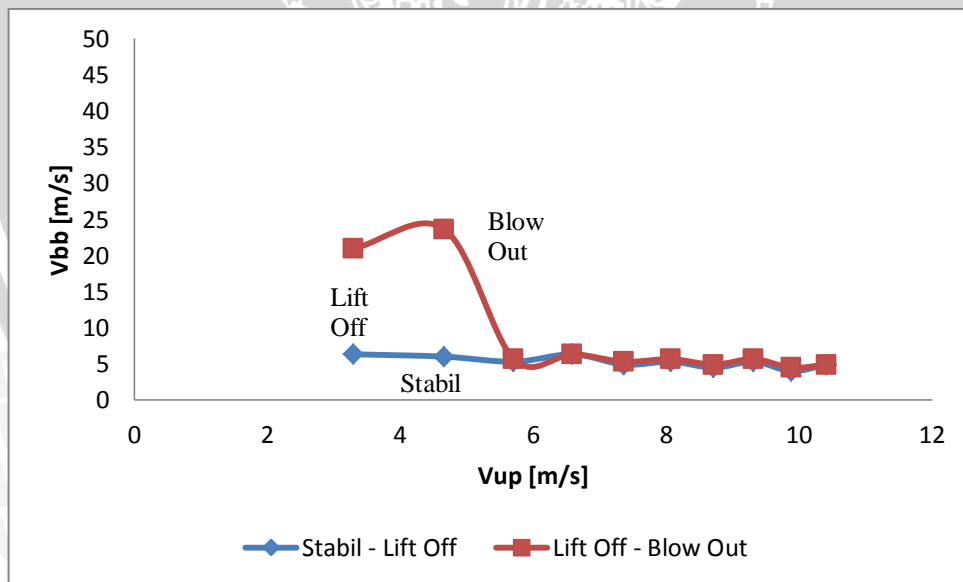
Diagram kestabilan api difusi *double concentric jet* ditunjukkan dengan plot grafik untuk mengetahui hubungan antara kecepatan aliran udara primer, kecepatan aliran udara sekunder dengan kecepatan aliran bahan bakar. Pada masing-masing variasi



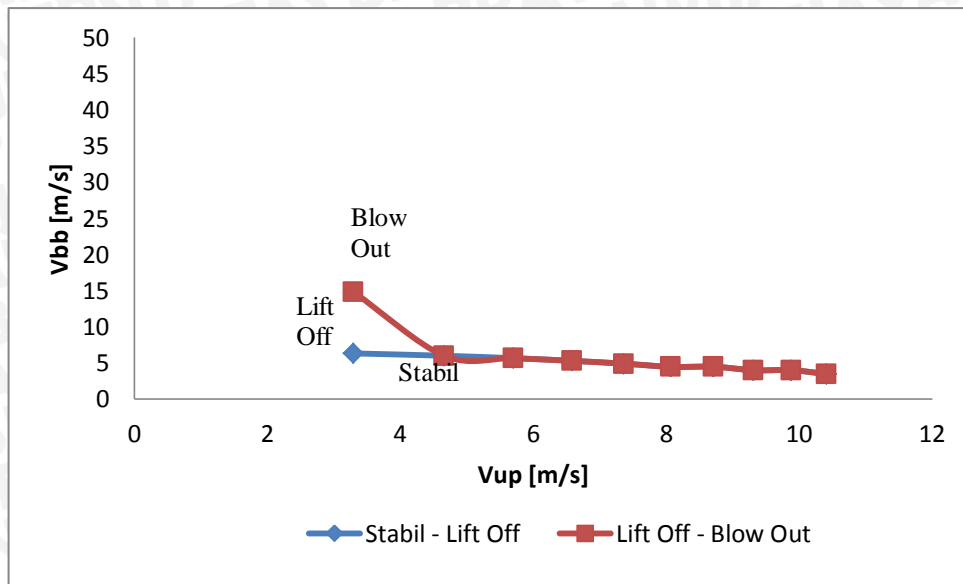
penelitian, diagram kestabilan api difusi *double concentric jet* dibagi menjadi tiga bagian dengan melihat batas yang terjadi yaitu daerah api stabil, daerah api *lift off* dan daerah api *blow out*. Batas masing-masing daerah tersebut didapat dengan menarik batas ketika api mengalami *lift off* dan *blow out*.



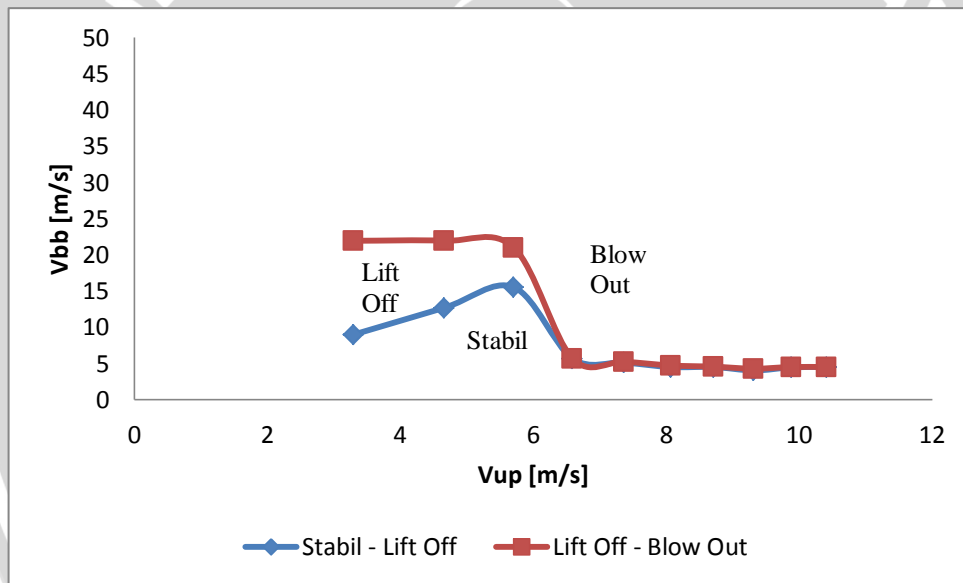
Grafik 4.1 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* tanpa alur pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]



Grafik 4.2 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* tanpa alur pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]

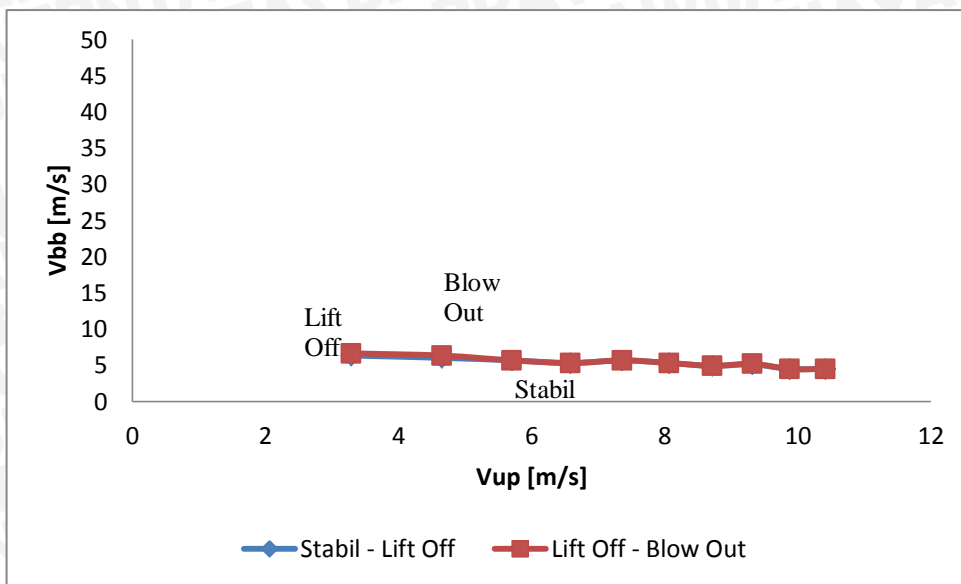


Grafik 4.3 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* tanpa alur pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]

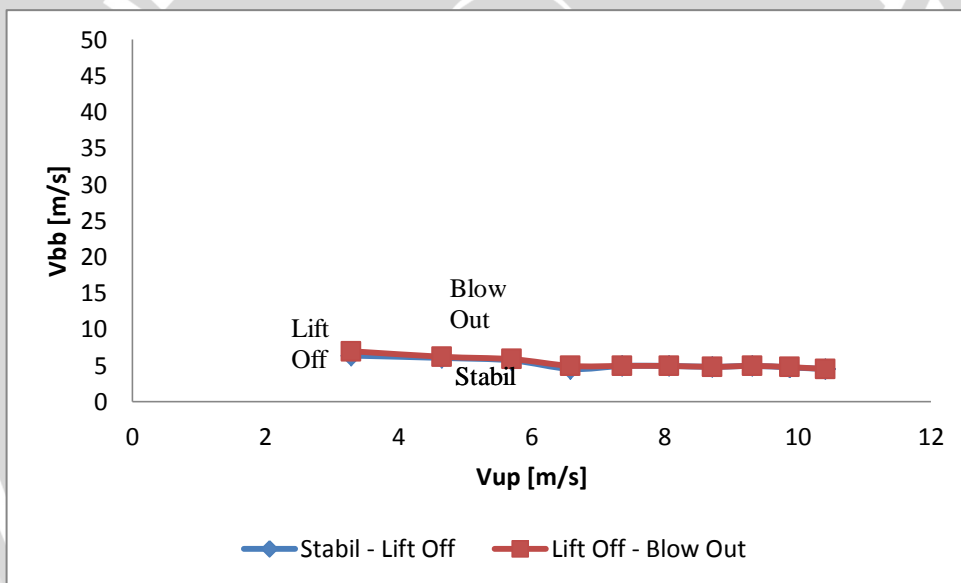


Grafik 4.4 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur 30° dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]

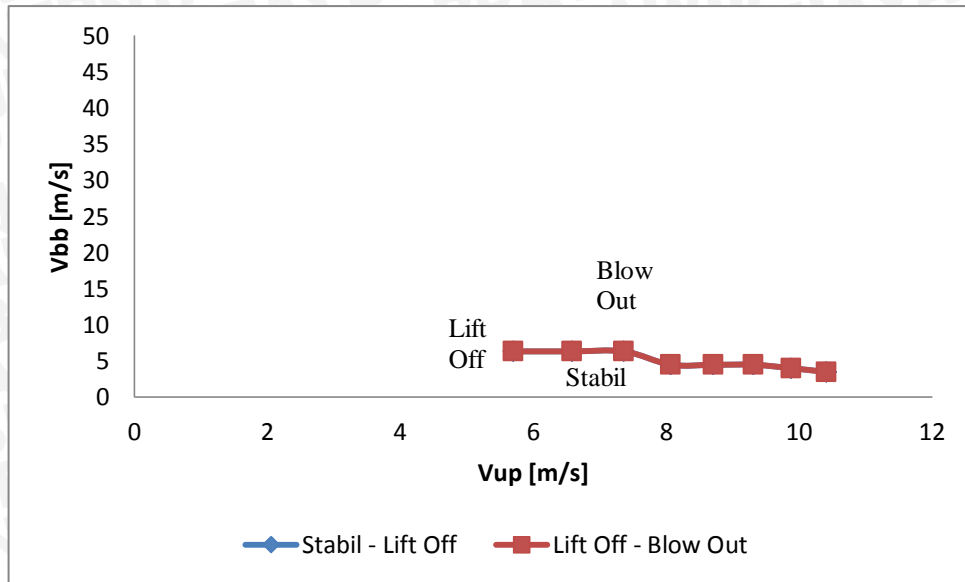




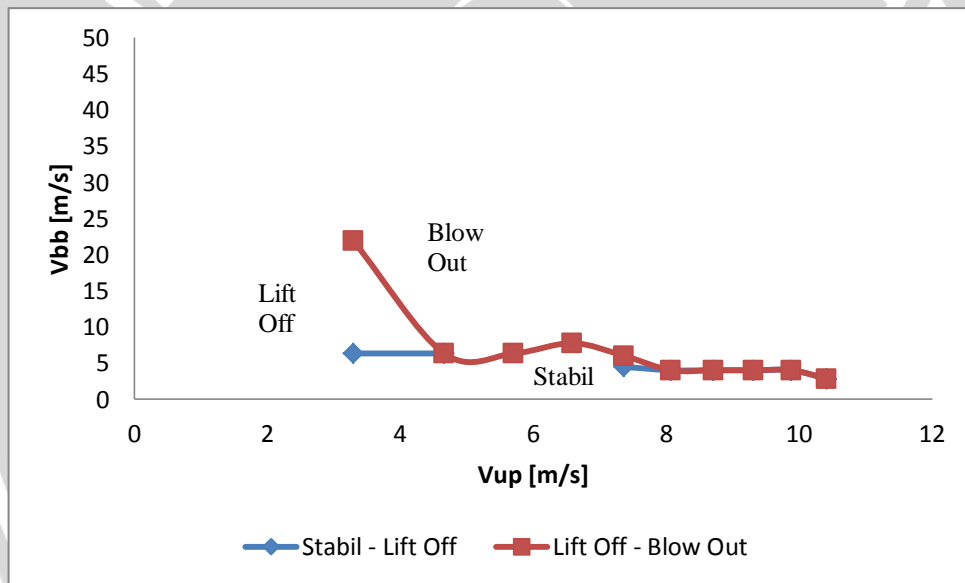
Grafik 4.5 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $30^\circ$  dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]



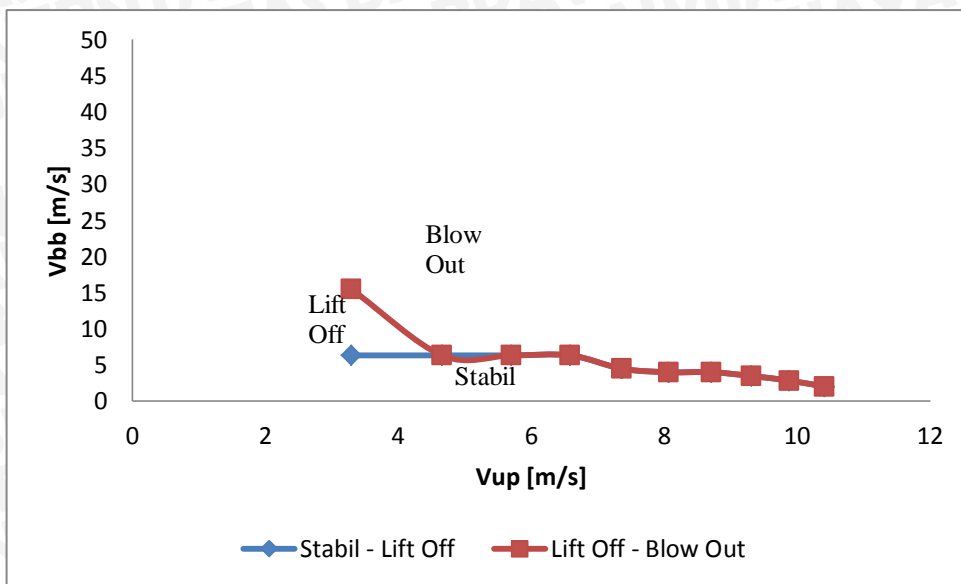
Grafik 4.6 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $30^\circ$  dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]



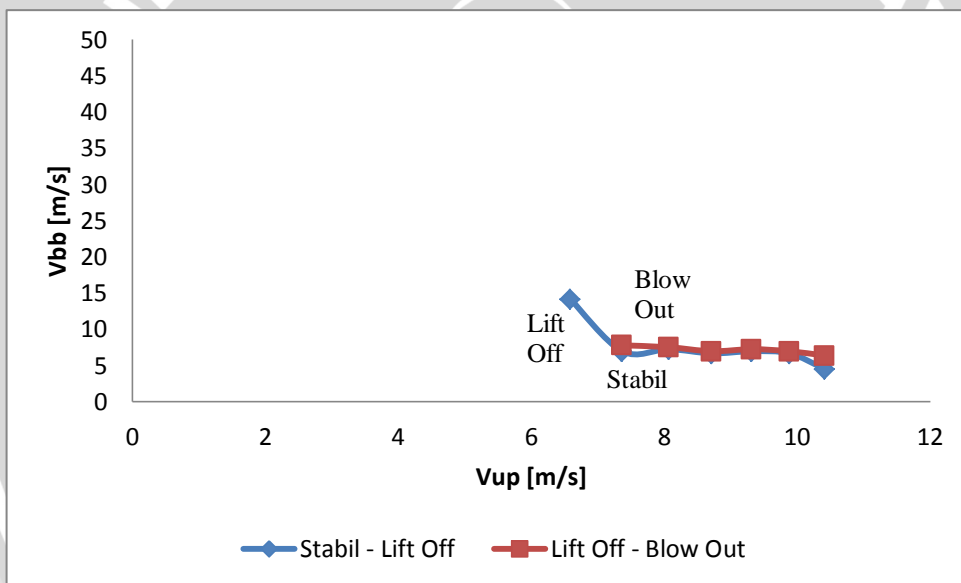
Grafik 4.7 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $30^\circ$  dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]



Grafik 4.8 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $30^\circ$  dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]

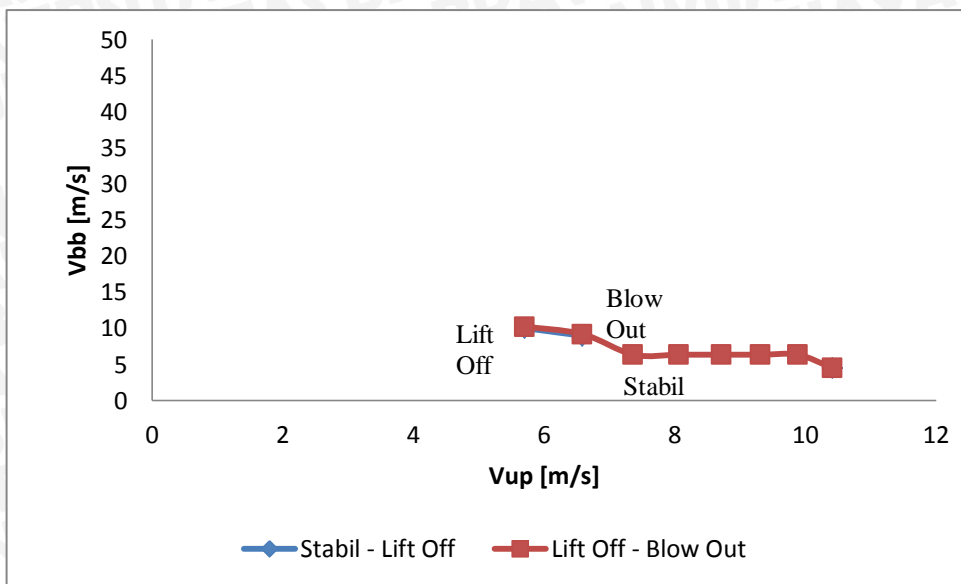


Grafik 4.9 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $30^\circ$  dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]

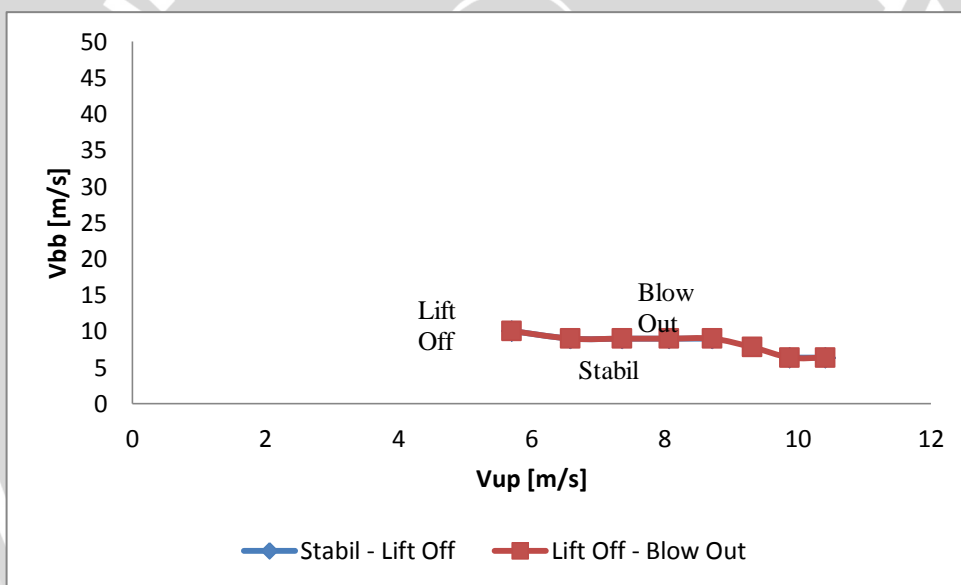


Grafik 4.10 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $30^\circ$  dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]

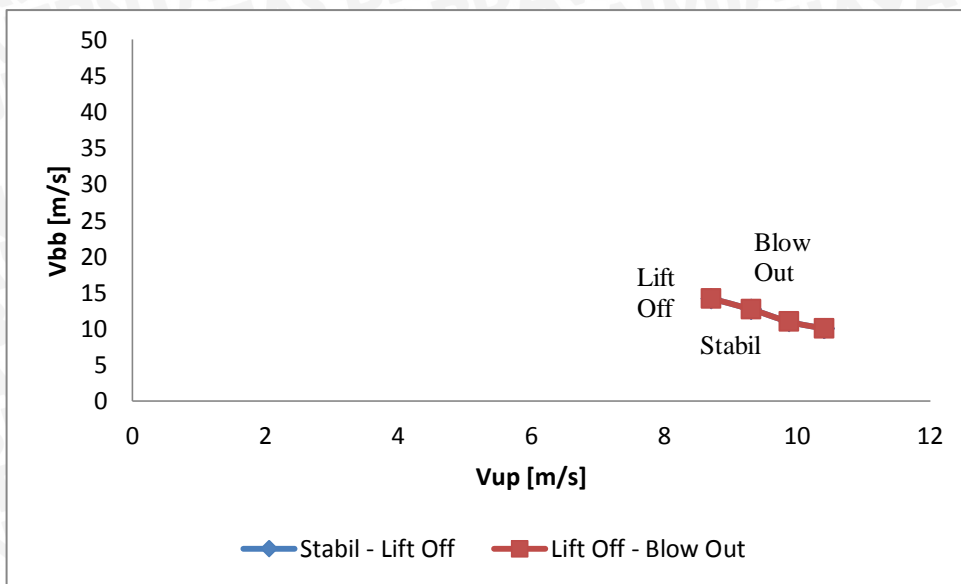




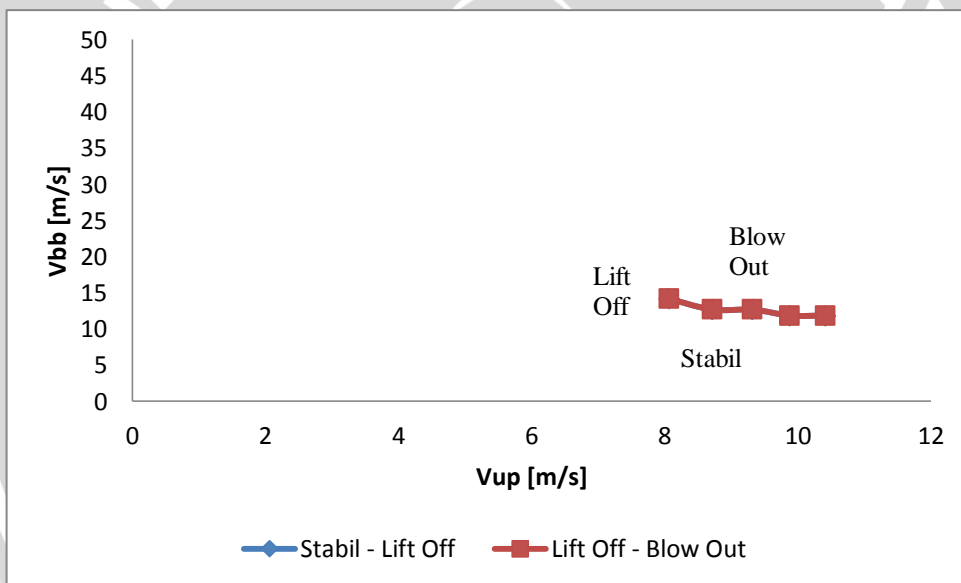
Grafik 4.11 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $30^\circ$  dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]



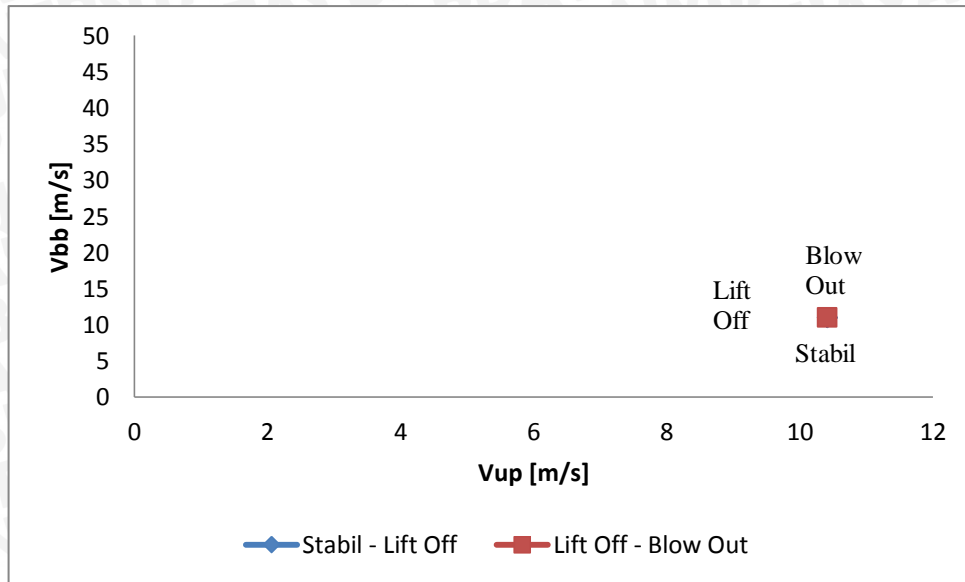
Grafik 4.12 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $30^\circ$  dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]



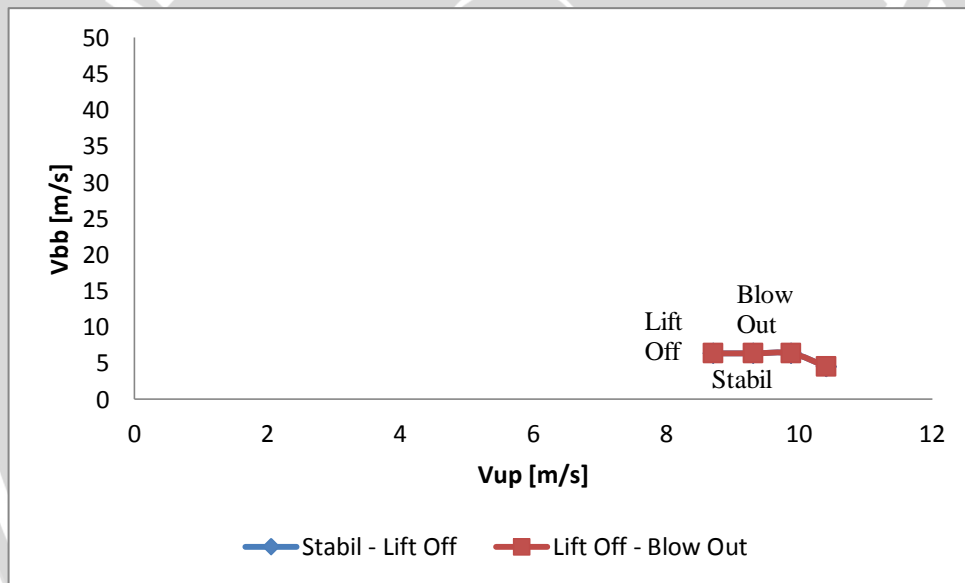
Graphik 4.13 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $45^\circ$  dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]



Graphik 4.14 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $45^\circ$  dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]

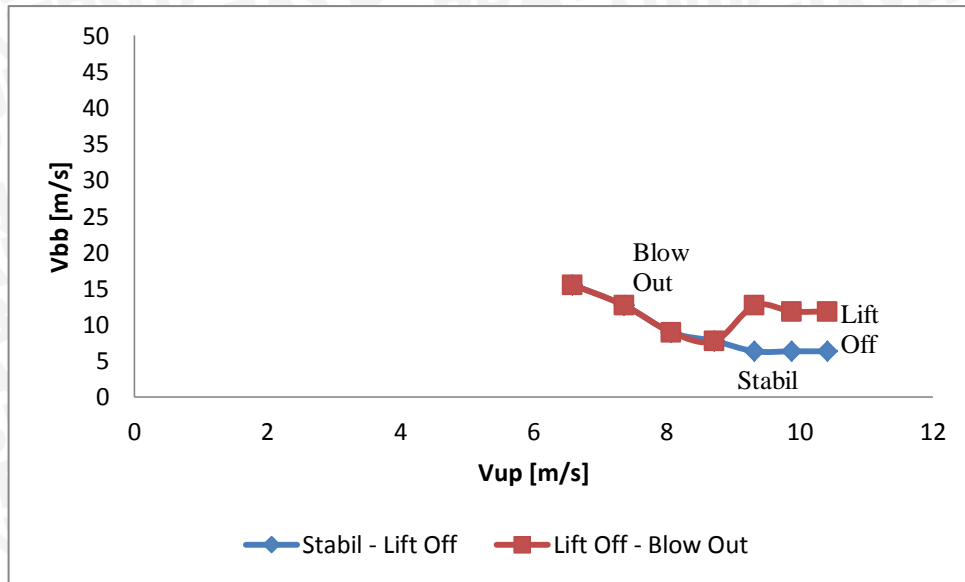


Graphik 4.15 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $45^\circ$  dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]

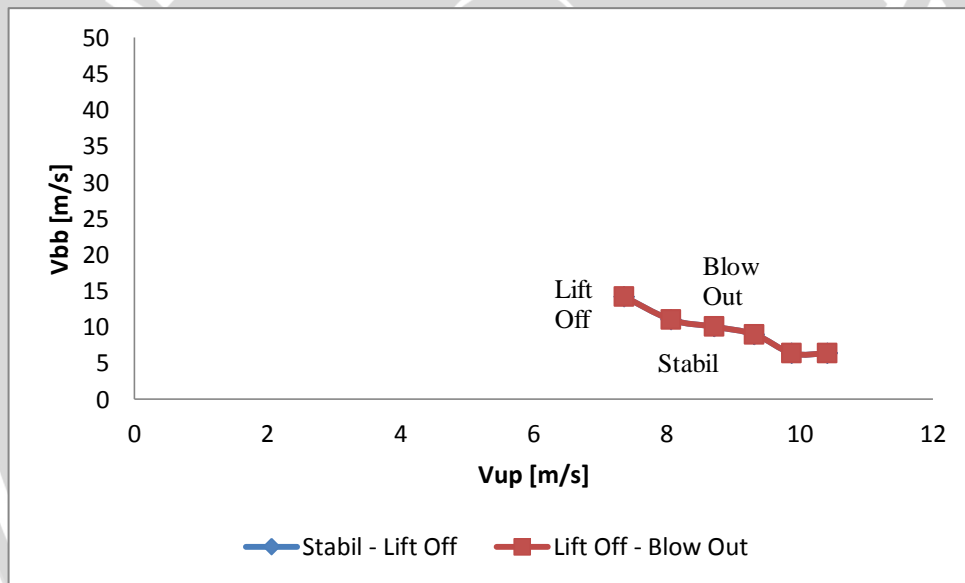


Graphik 4.16 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* sudut alur  $45^\circ$  dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]

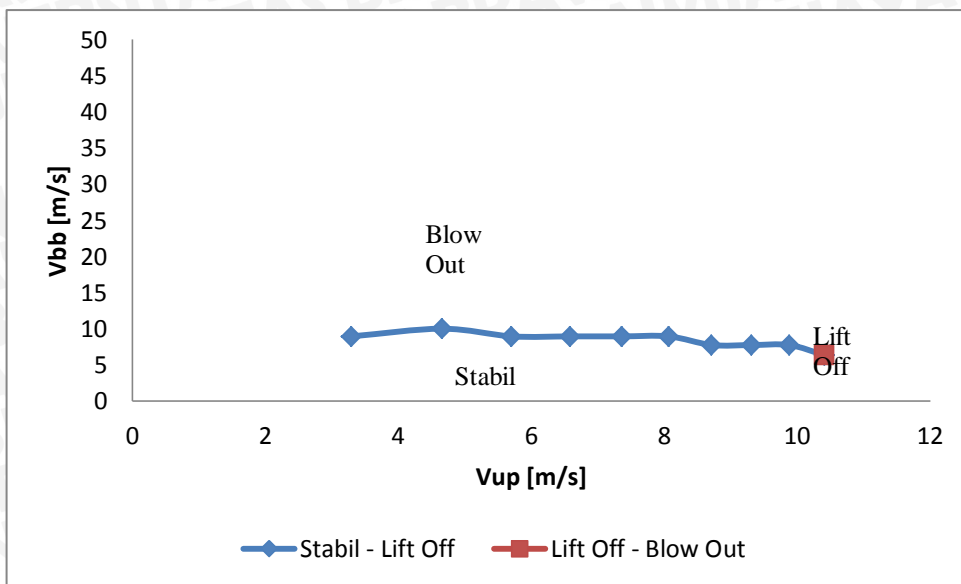




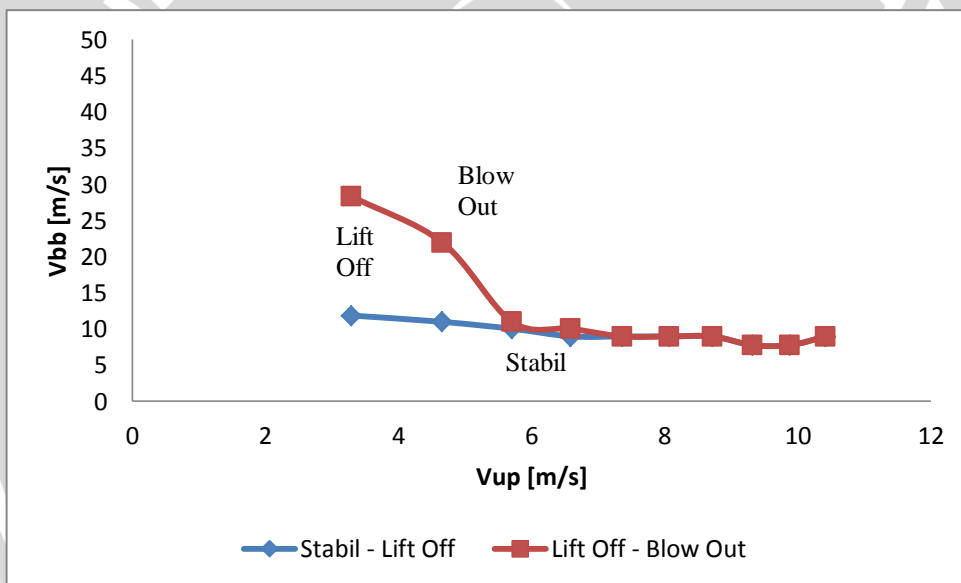
Grafik 4.17 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $45^\circ$  dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]



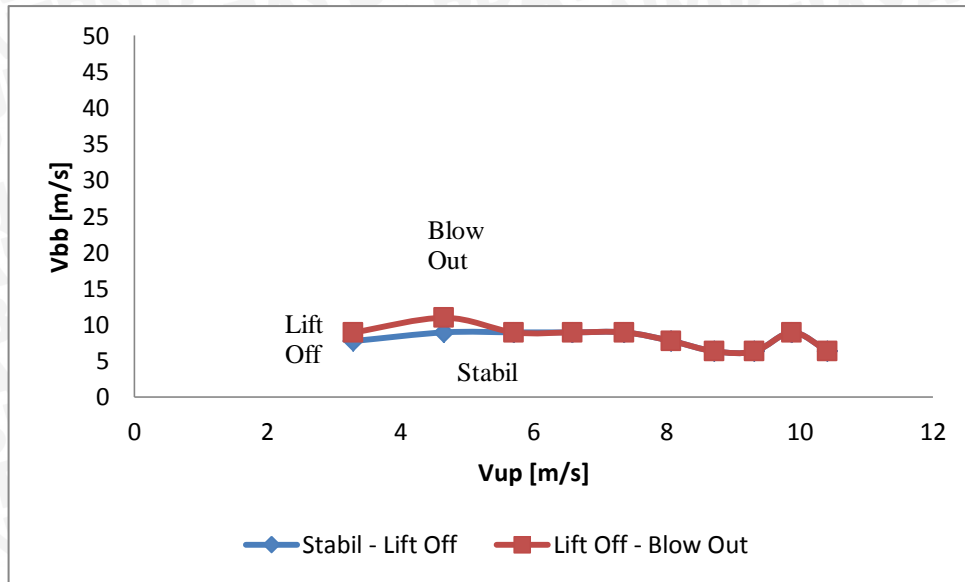
Grafik 4.18 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* sudut alur  $45^\circ$  dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]



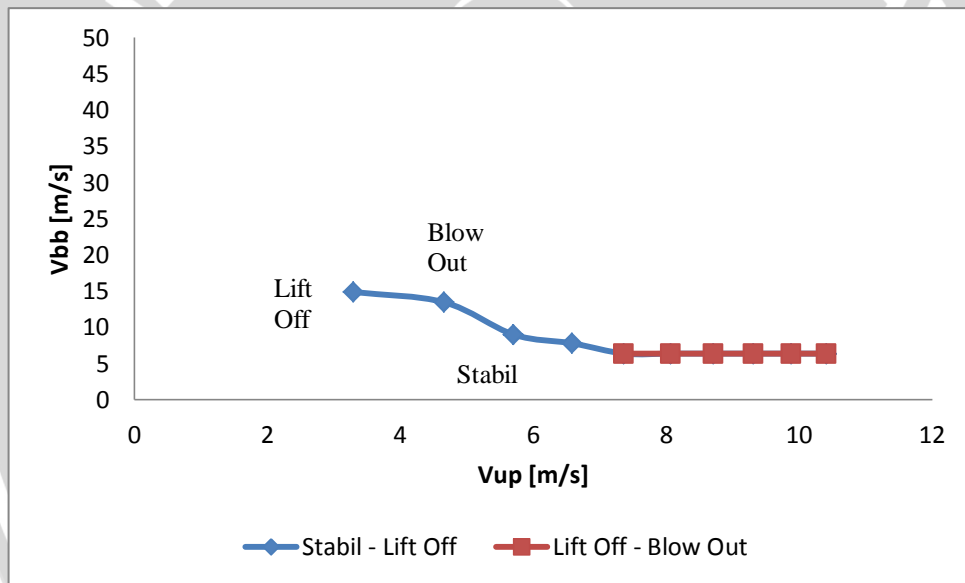
Grafik 4.19 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $45^\circ$  dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]



Grafik 4.20 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $45^\circ$  dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]

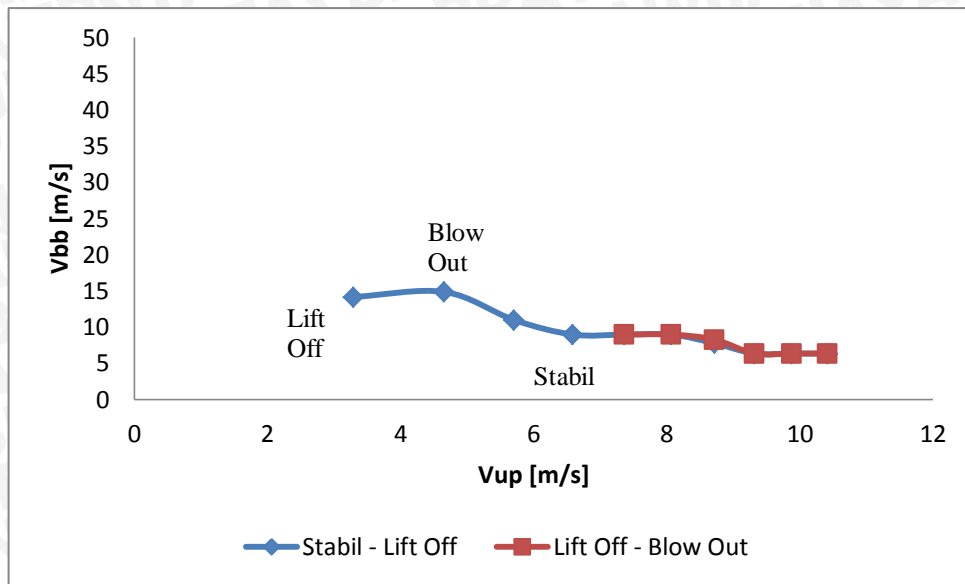


Grafik 4.21 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $45^\circ$  dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]

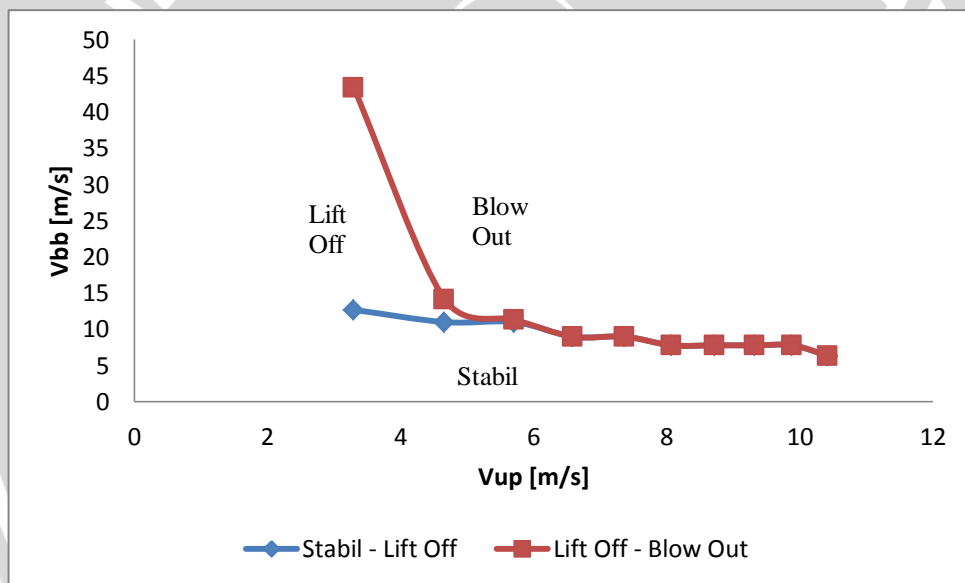


Grafik 4.22 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $60^\circ$  dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]

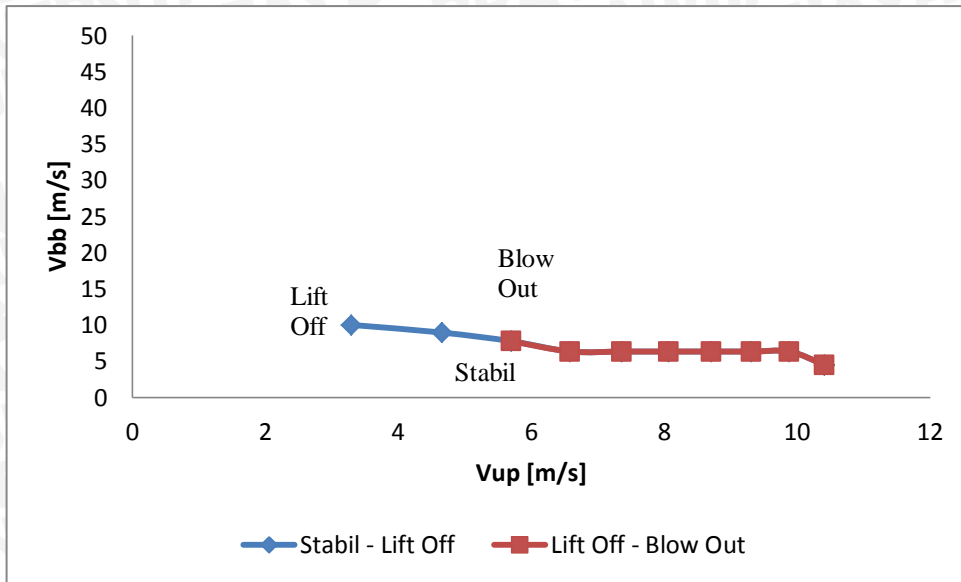




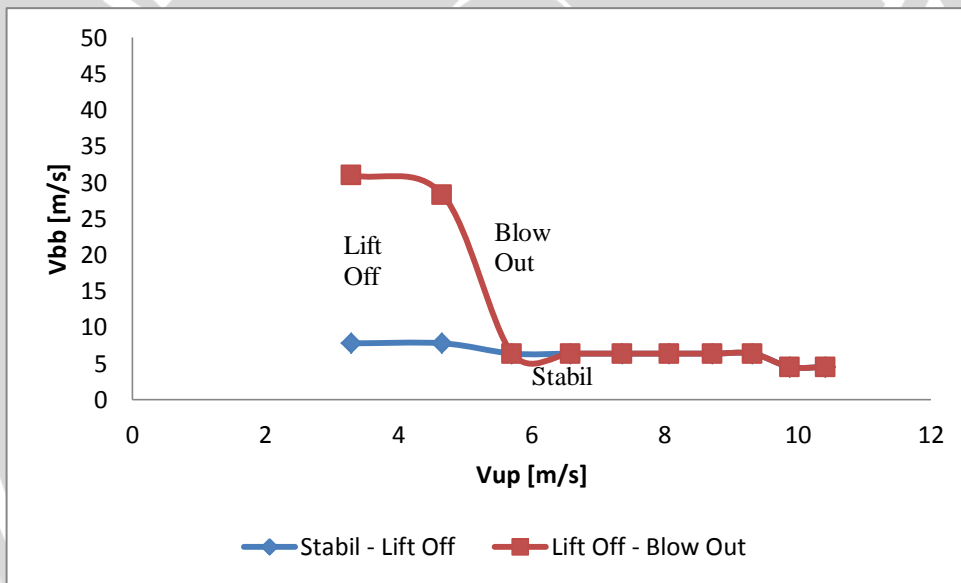
Grafik 4.23 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $60^\circ$  dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]



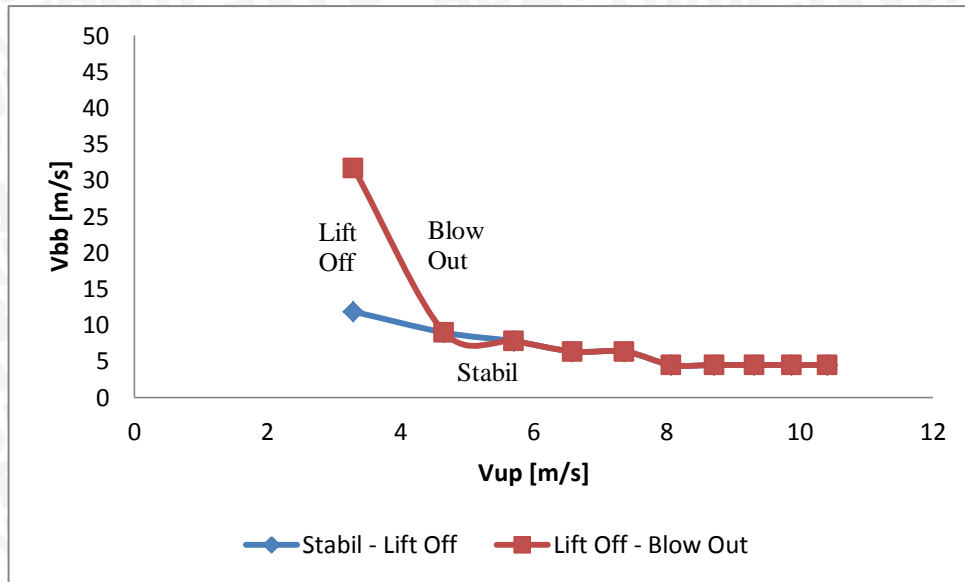
Grafik 4.24 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $60^\circ$  dan jumlah alur 2 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]



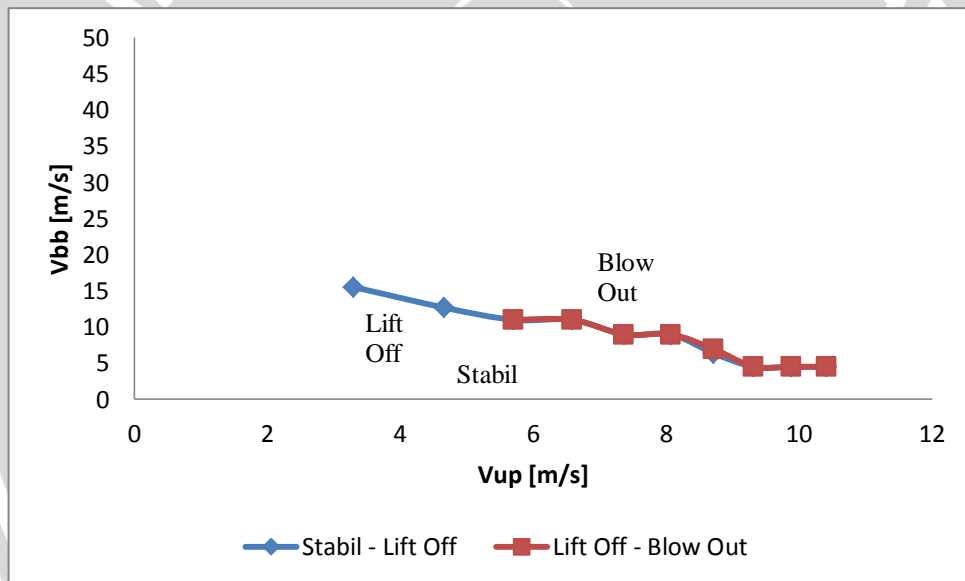
Grafik 4.25 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $60^\circ$  dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]



Grafik 4.26 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $60^\circ$  dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]

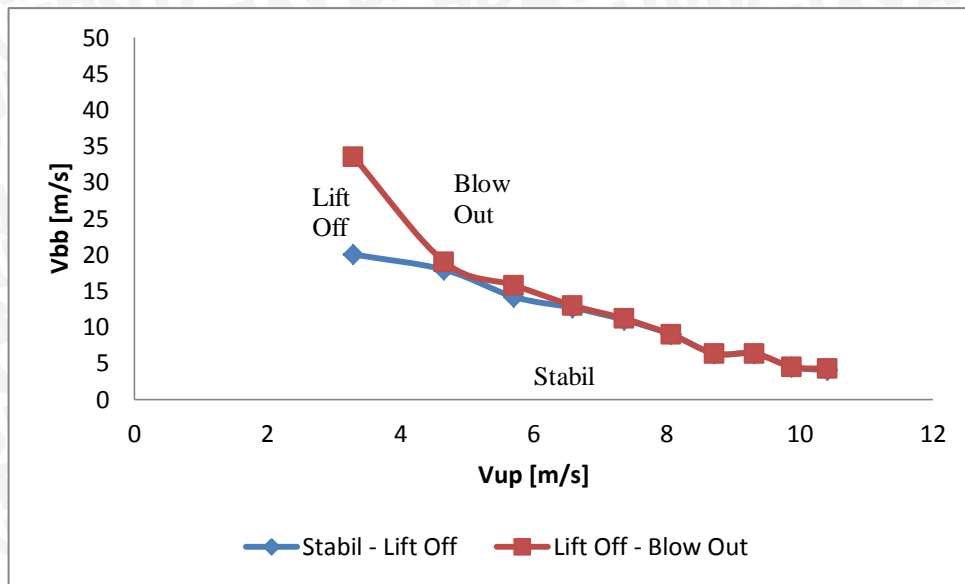


Grafik 4.27 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $60^\circ$  dan jumlah alur 3 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]

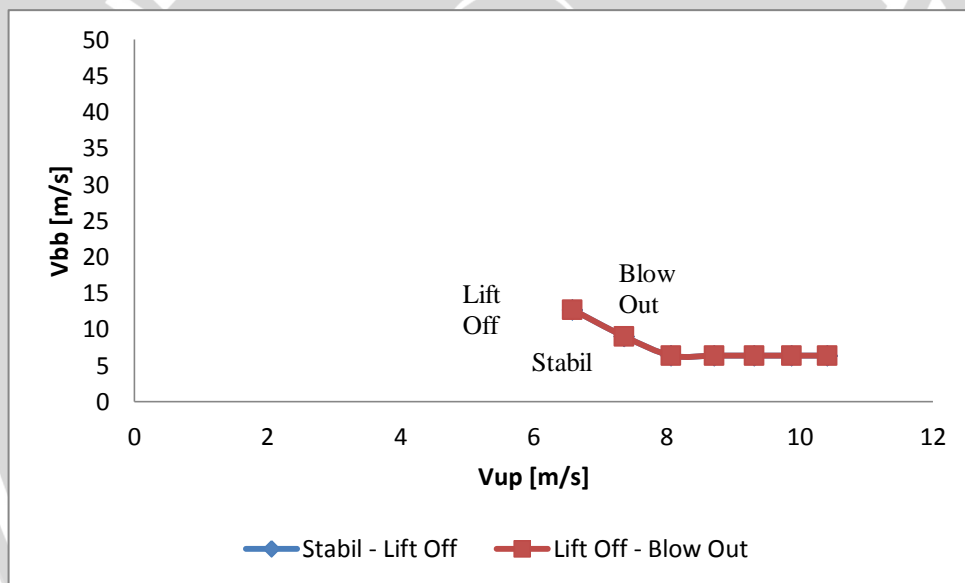


Grafik 4.28 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $60^\circ$  dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]

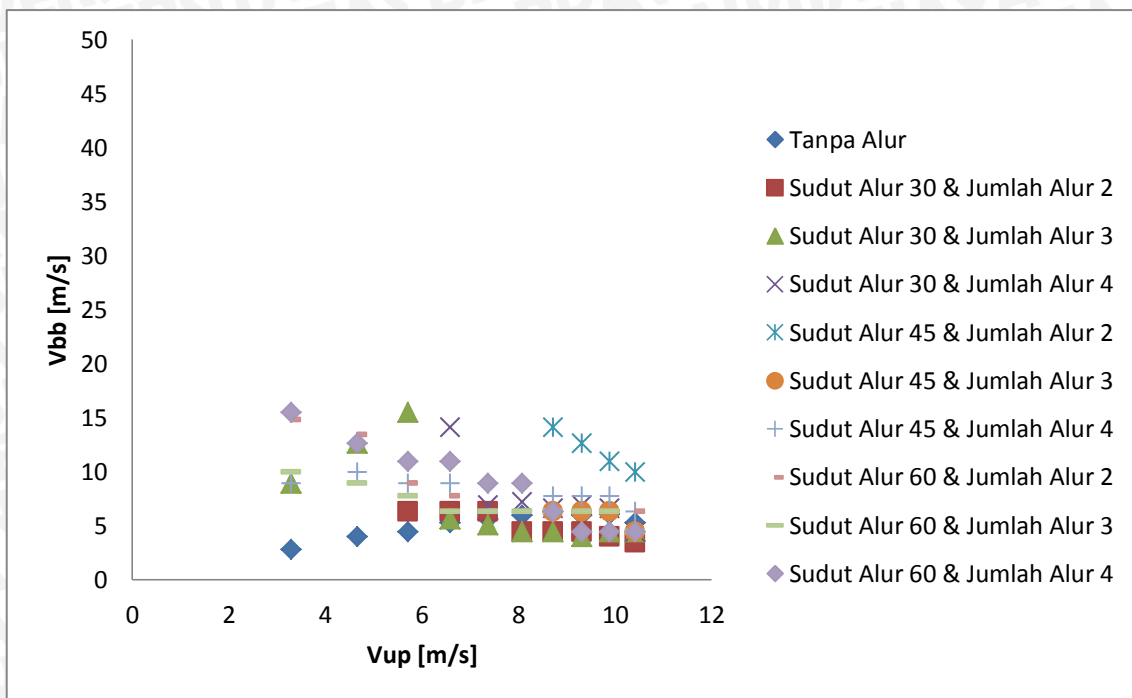




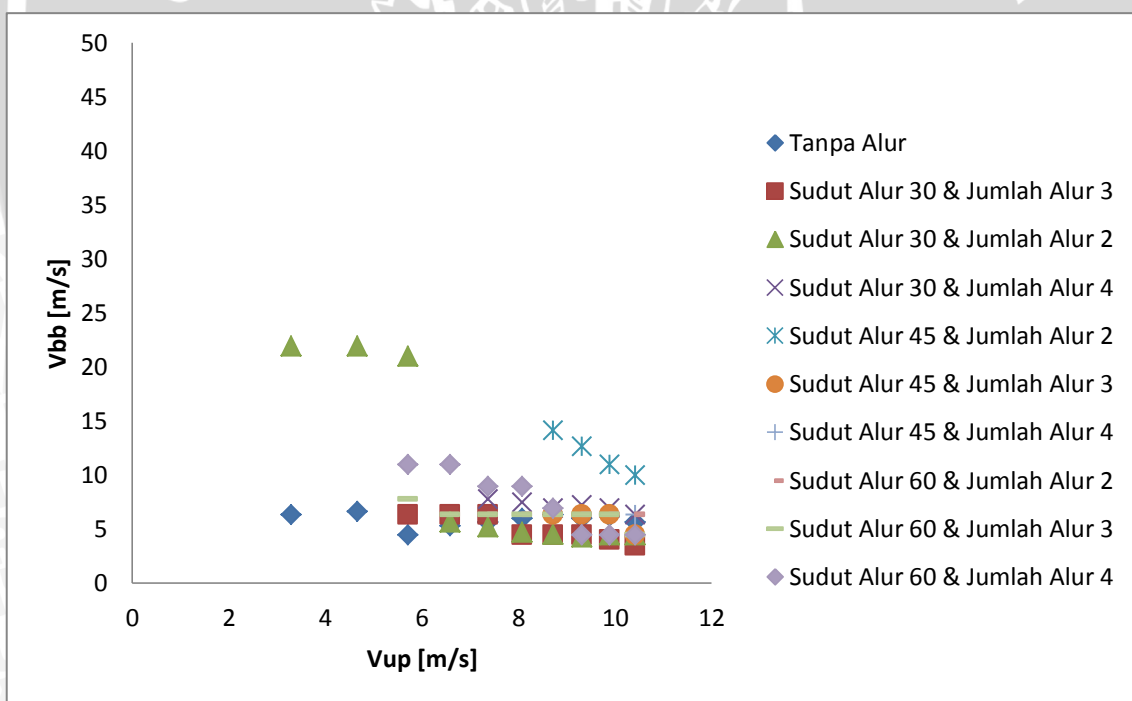
Grafik 4.29 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* dengan sudut alur  $60^\circ$  dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]



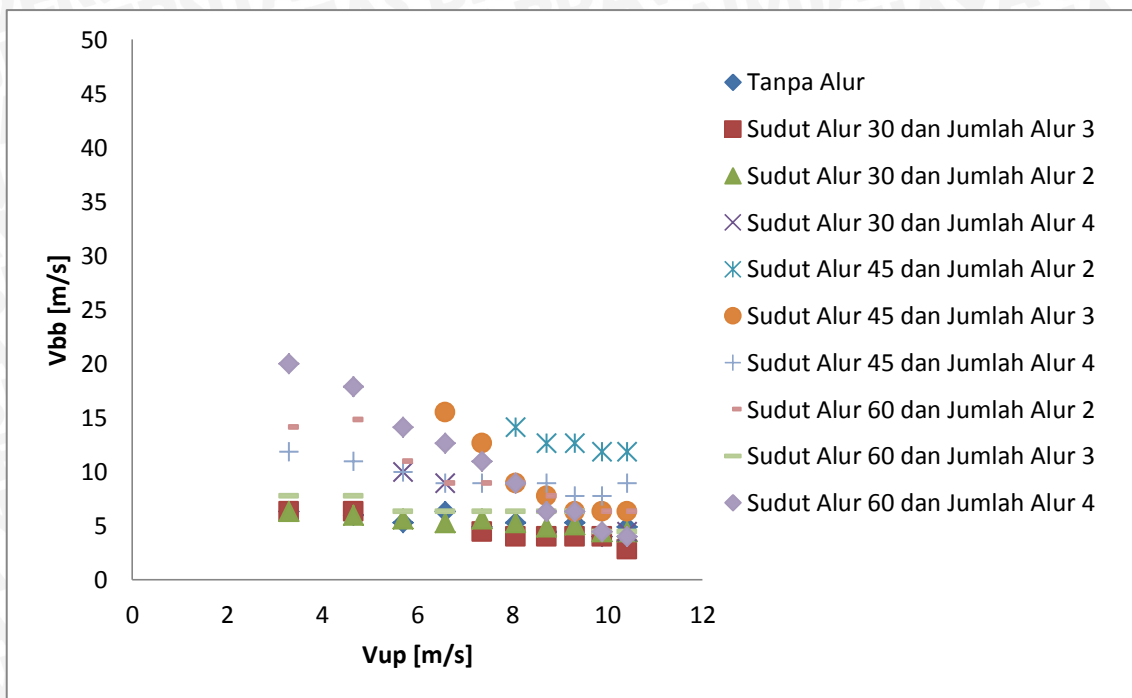
Grafik 4.30 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* sudut alur  $60^\circ$  dan jumlah alur 4 pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]



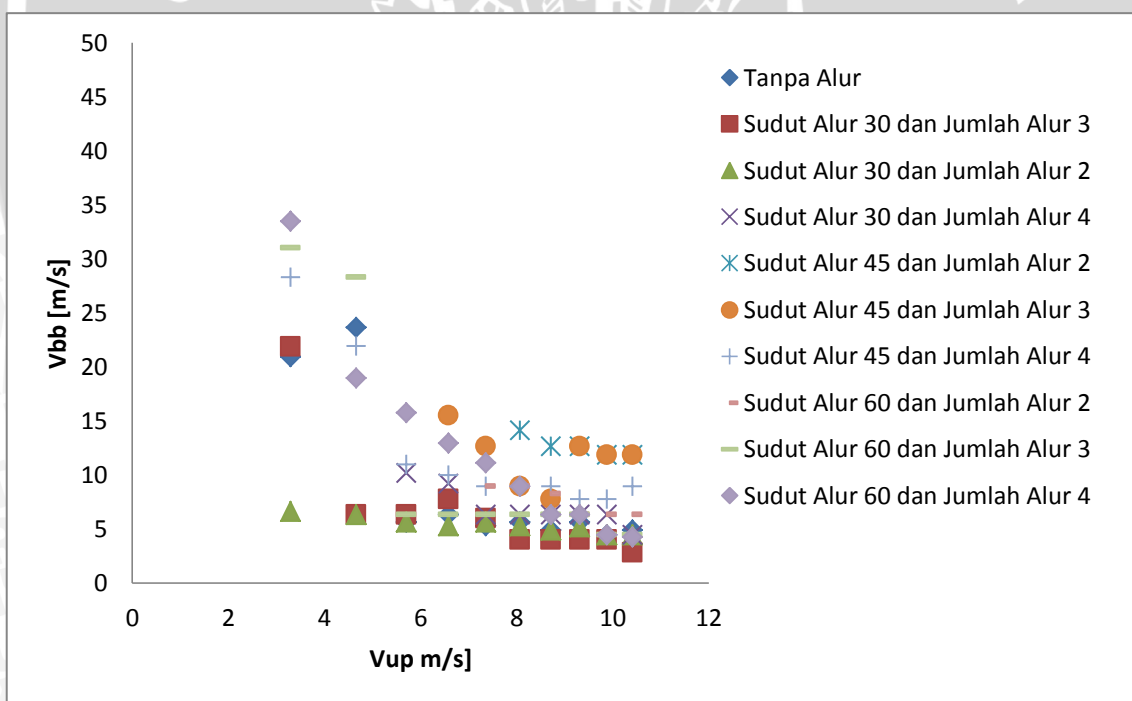
Grafik 4.31 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet Stabil – Lift Off* pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]



Grafik 4.32 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet Lift Off – Blow Out* pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s]

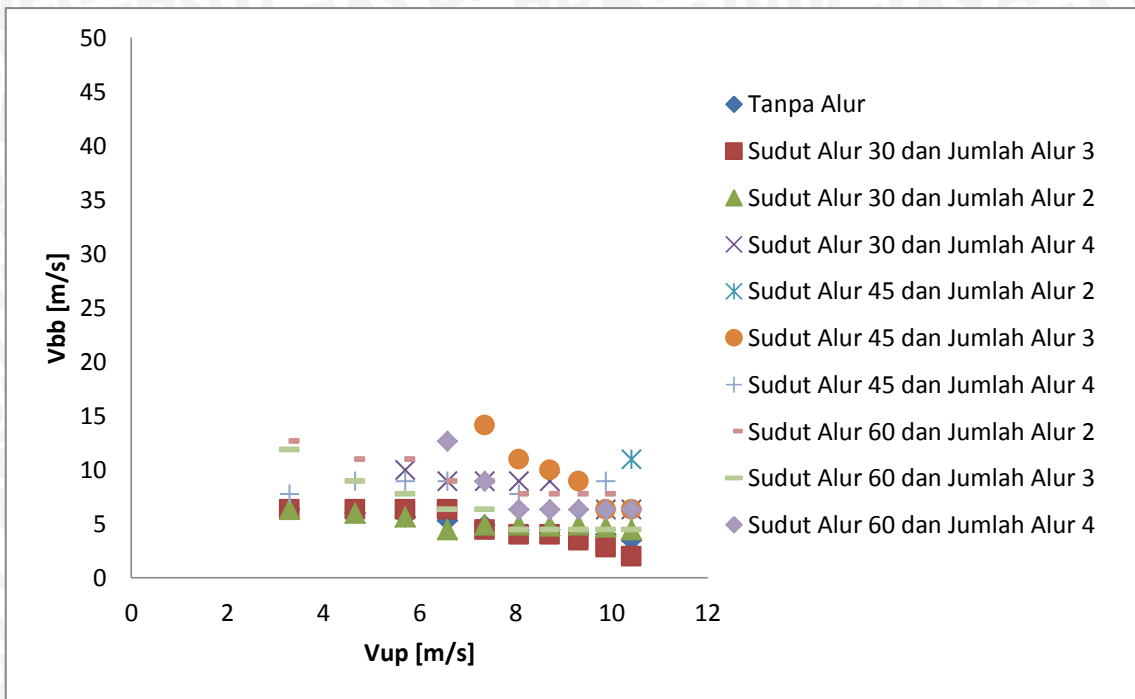


Grafik 4.33 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* Stabil – *Lift Off* pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]

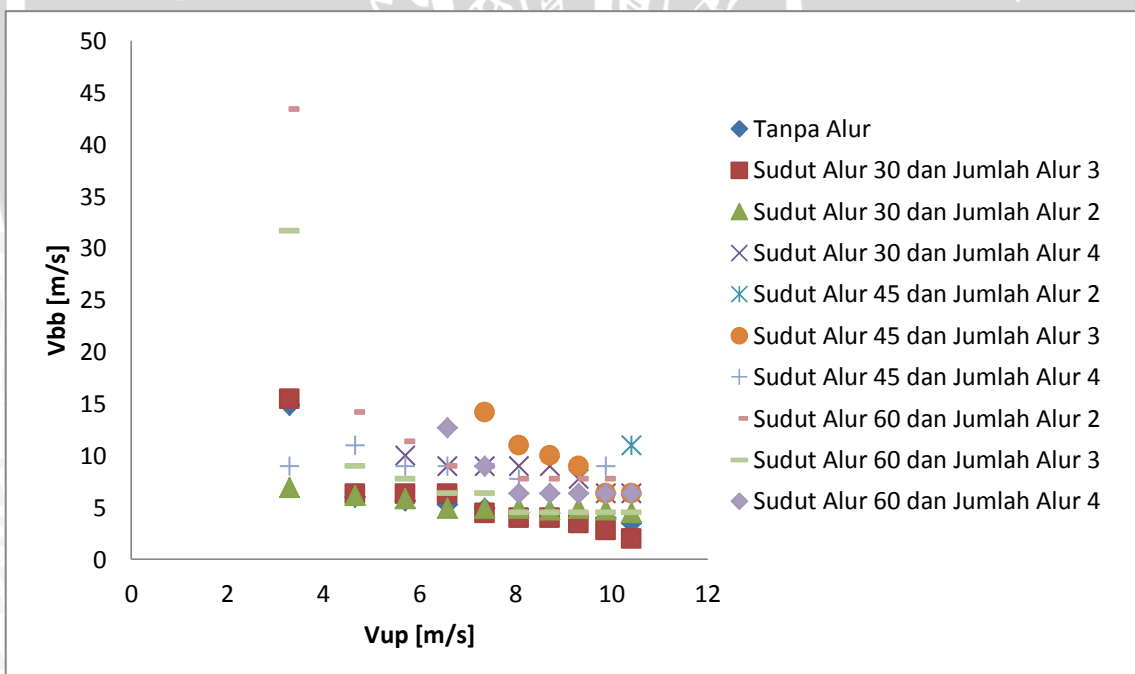


Grafik 4.34 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* *Lift Off* – *Blow Out* pada kecepatan udara sekunder 0,6 [m/s]





Grafik 4.35 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* Stabil – *Lift Off* pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]



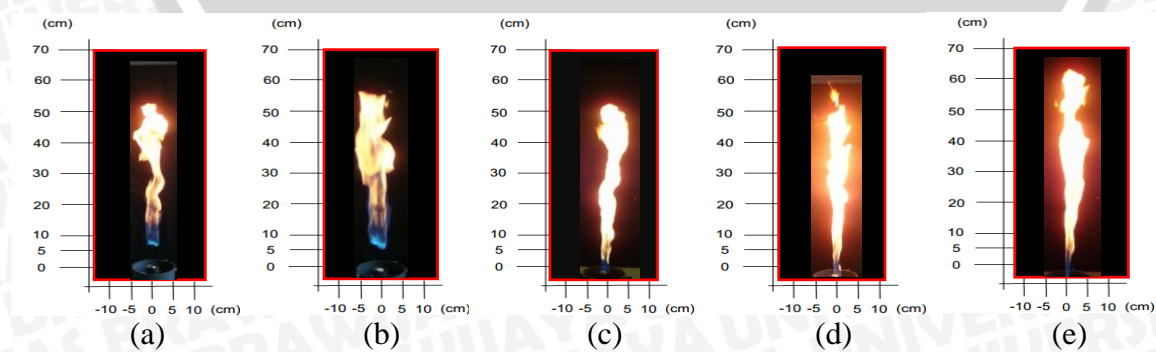
Grafik 4.36 Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet* *Lift Off* – *Blow Out* pada kecepatan udara sekunder 0,9 [m/s]

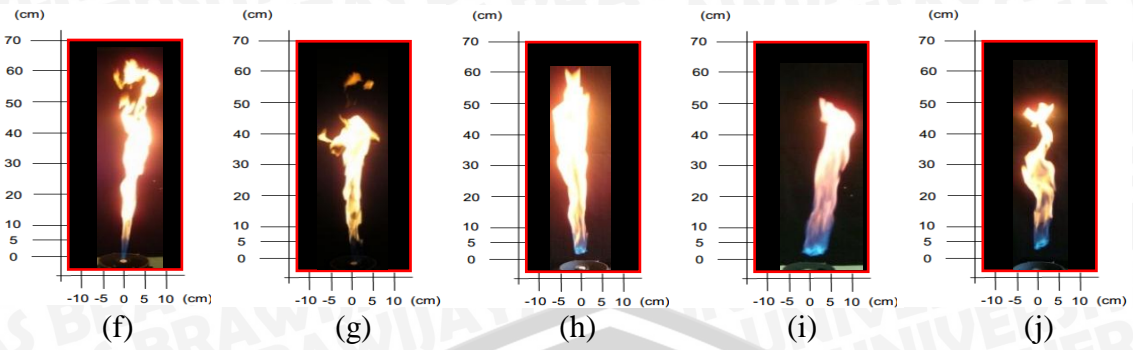
Pada grafik 4.1 sampai grafik 4.30 menunjukkan grafik kestabilan api difusi *double concentric jet* pada berbagai variasi pemasangan nozel tanpa alur dan dengan alur (30°, 45°, 60°, dan jumlah alur 2, 3, 4). Sumbu-x merupakan kecepatan aliran udara primer sedangkan sumbu-y merupakan kecepatan aliran bahan bakar pada kondisi kecepatan udara sekunder yang berbeda-beda (0,3; 0,6; dan 0,9 [m/s]).

Pada grafik 4.31 sampai dengan grafik 4.36 menunjukkan kumpulan grafik kestabilan api difusi *double concentric jet* pada kondisi *Stabil-Lift off* dan pada kondisi *Lift Off-Blow Out* dengan berbagai variasi pemasangan nozel tanpa alur dan dengan alur ( $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan jumlah alur 2, 3, 4). Dari grafik 4.31 sampai dengan grafik 4.36 terlihat bahwa dengan pemasangan alur dengan sudut alurnya dan penambahan jumlah alur yang semakin besar menyebabkan luasan daerah kestabilan api berubah. Dengan melihat grafik 4.31 sampai grafik 4.36, bahwa sudut alur  $45^\circ$  dengan jumlah alur 2 pada kecepatan sekunder 0,3 [m/s] memiliki daerah kestabilan api yang paling luas. Hal ini dapat ditunjukkan dari grafik 4.31 dan grafik 4.32 bahwa pada kondisi tersebut kecepatan aliran udara primer semakin bertambah dengan kecepatan aliran udara sekunder yang semakin bertambah pula, kestabilan api untuk mengalami *lift off* dan *blow out* hampir tidak terlihat, sehingga api tetap menyala pada kondisi *lift off* meskipun bahan bakar mengalir pada kondisi maksimum. Hal ini terjadi karena pada kondisi tersebut, udara sekunder masih mengalami resirkulasi dengan udara primer dan juga dengan bahan bakar, sehingga proses pencampuran antara bahan bakar dan udara terjadi pada kondisi yang paling baik. Hal tersebut juga didukung dengan jumlah alur yang semakin sedikit. Dengan jumlah alur yang semakin sedikit, udara primer yang melalui saluran tersebut lebih banyak yang keluar ke daerah reaksi, sehingga reaksi tersebut kaya akan udara yang menyebabkan kestabilan api meningkat. Dengan kata lain, proses resirkulasi juga semakin besar, sehingga terjadi pencampuran antara bahan bakar dan udara juga semakin baik. Hal ini juga terjadi pada penambahan kecepatan sekunder 0,6 [m/s] dan 0,9 [m/s].

#### 4.5.2 Visualisasi Api Difusi *Double Concentric Jet*

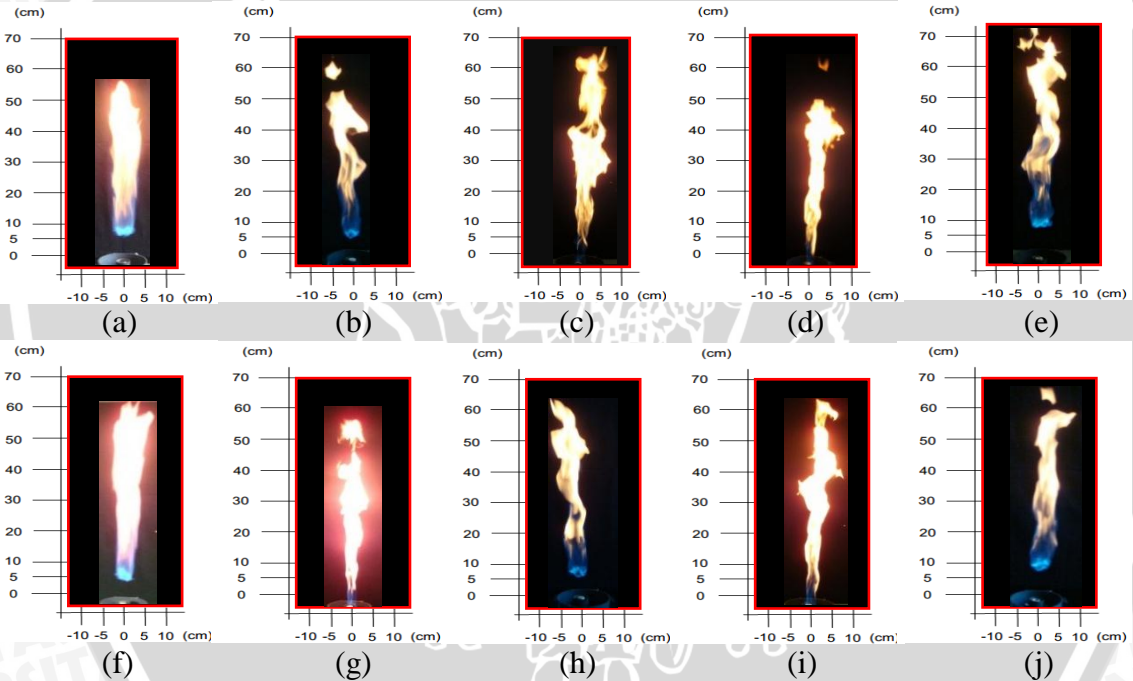
Dari penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh visualisasi api difusi *double concentric jet flow* sebagai berikut :





Gambar 4.7 : Visualisasi api pada berbagai macam variasi tanpa alur dan dengan alur serta jumlah alur *central fuel tube* pada  $U_s = 0,3 \text{ m/s}$ ,  $U_p = 2 \text{ m/s}$ ,  $V_{bb} = 3 \text{ m/s}$

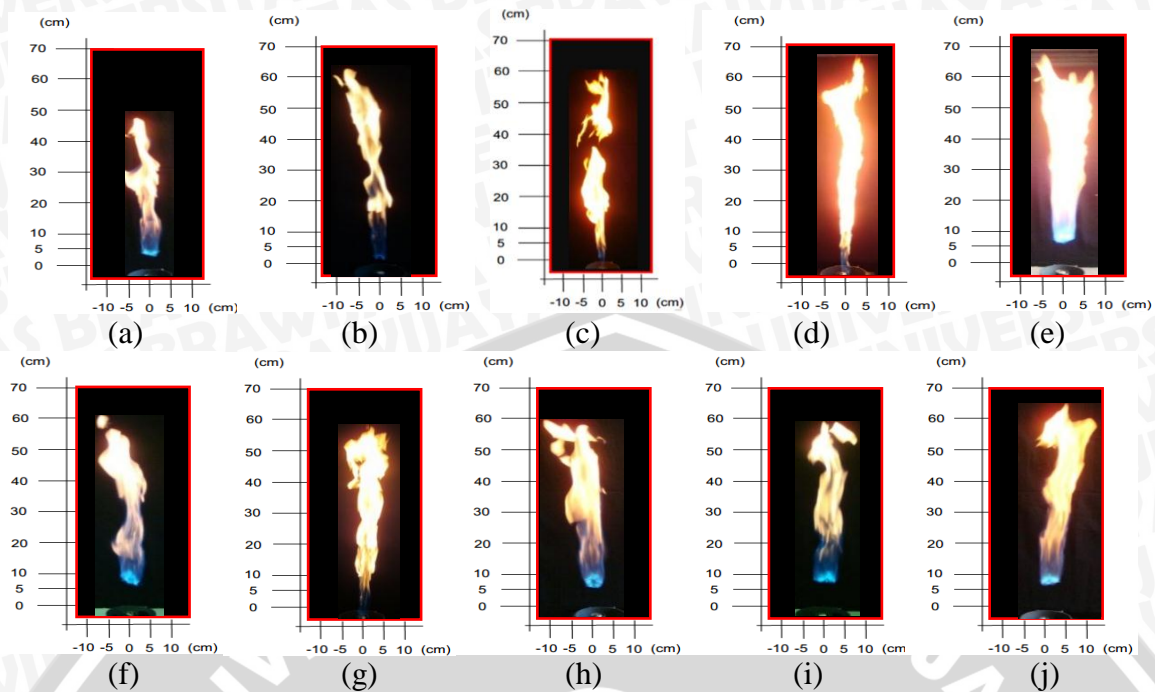
- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| (a) Tanpa Alur          | (f) Alur $45^\circ$ & 3 |
| (b) Alur $30^\circ$ & 2 | (g) Alur $45^\circ$ & 4 |
| (c) Alur $30^\circ$ & 3 | (h) Alur $60^\circ$ & 2 |
| (d) Alur $30^\circ$ & 4 | (i) Alur $60^\circ$ & 3 |
| (e) Alur $45^\circ$ & 2 | (j) Alur $60^\circ$ & 4 |



Gambar 4.8 : Visualisasi api pada berbagai macam variasi tanpa alur dan dengan alur serta jumlah alur *central fuel tube* pada  $U_s = 0,3 \text{ m/s}$ ,  $U_p = 2,7 \text{ m/s}$ ,  $V_{bb} = 3,6 \text{ m/s}$

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| (a) Tanpa Alur          | (f) Alur $45^\circ$ & 3 |
| (b) Alur $30^\circ$ & 2 | (g) Alur $45^\circ$ & 4 |
| (c) Alur $30^\circ$ & 3 | (h) Alur $60^\circ$ & 2 |
| (d) Alur $30^\circ$ & 4 | (i) Alur $60^\circ$ & 3 |
| (e) Alur $45^\circ$ & 2 | (j) Alur $60^\circ$ & 4 |





Gambar 4.9 : Visualisasi api pada berbagai macam variasi tanpa alur dan dengan alur serta jumlah alur *central fuel tube* pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 3,2$  m/s,  $V_{bb} = 4,5$  m/s

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| (a) Tanpa Alur   | (f) Alur 45° & 3 |
| (b) Alur 30° & 2 | (g) Alur 45° & 4 |
| (c) Alur 30° & 3 | (h) Alur 60° & 2 |
| (d) Alur 30° & 4 | (i) Alur 60° & 3 |
| (e) Alur 45° & 2 | (j) Alur 60° & 4 |

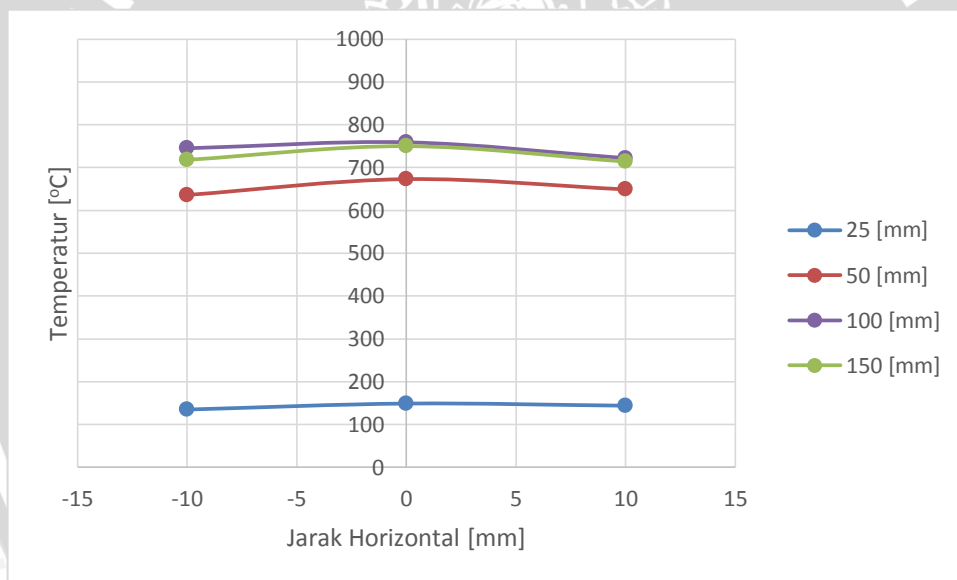
Pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.3 terlihat visualisasi api pada berbagai variasi tanpa pemasangan alur dan juga berbagai variasi dengan pemasangan alur dengan kecepatan udara sekunder ( $U_s = 0,3$  [m/s]), sedangkan kecepatan udara primer ( $U_p = 2$  [m/s];  $2,7$  [m/s]; dan  $3,2$  [m/s]) dan untuk kecepatan bahan bakarnya ( $V_{bb} = 3$  [m/s];  $3,6$  [m/s] dan  $4,5$  [m/s]). Pada Gambar 4. 1 visualisasi api dengan kecepatan udara sekunder  $0,3$  [m/s], kecepatan udara primer  $2$  [m/s] dan kecepatan bahan bakar  $3$  [m/s], api yang paling tinggi terjadi pada alur dengan sudut  $45^\circ$  dan jumlah alur  $2$  dengan ketinggian  $64$  [cm].

Pada Gambar 4.2 visualisasi api dengan kecepatan udara sekunder  $0,3$  [m/s], kecepatan udara primer  $2,7$  [m/s], dan kecepatan bahan bakar  $3,6$  [m/s], api yang paling tinggi terjadi pada alur dengan sudut  $60^\circ$  dan jumlah alur  $3$  dengan ketinggian  $63$  [cm].

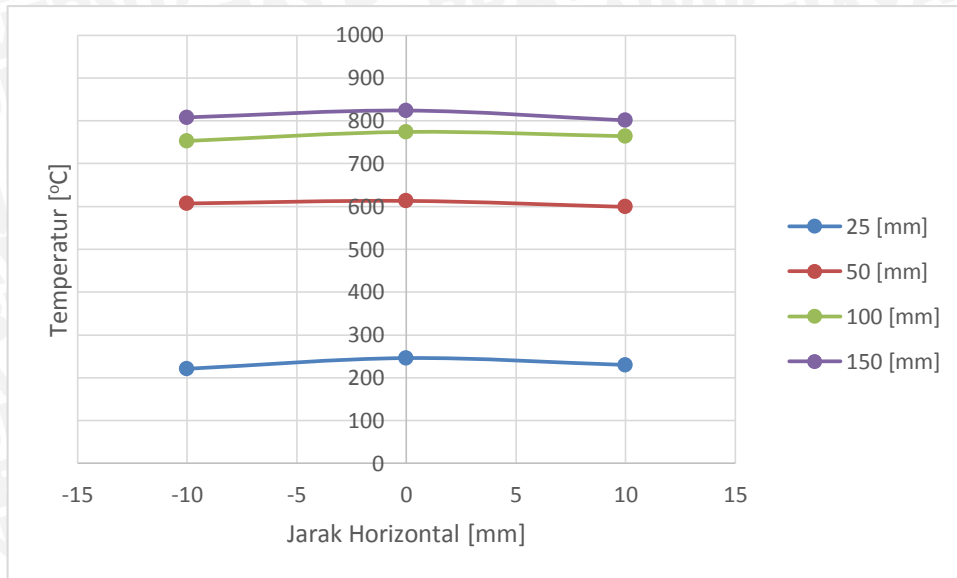
Pada Gambar 4.3 visualisasi api dengan kecepatan udara sekunder  $0,3$  [m/s], kecepatan udara primer  $3,2$  [m/s], dan kecepatan bahan bakar  $4,5$  [m/s], api yang paling tinggi terjadi pada alur dengan sudut  $30^\circ$  dan jumlah alur  $4$  dengan ketinggian  $62$  [cm]. Pada visualisasi api dengan kecepatan udara sekunder yang sama, tetapi dengan

penambahan kecepatan udara primer dan bahan bakar yang semakin meningkat, visualisasi pada berbagai pemasangan alur terlihat adanya perbedaan ketinggian. Hal ini disebabkan karena kecepatan axial pada udara sekunder dan bahan bakar, maupun kecepatan tangensial pada udara primer akibat penambahan alur membuat ketinggian api berbeda. Kecepatan axial pada bahan bakar maupun udara sekunder yang semakin meningkat menyebabkan kecepatan reaktan semakin menurun. Sehingga terjadi *lift off*, dimana kecepatan reaktan lebih cepat dari pada kecepatan produk (api). Hal tersebut juga disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan pada udara primer maupun udara sekunder mengakibatkan adanya *shear flow*. *Shear flow* tersebut yang menyebabkan resirkulasi pada daerah reaksi, sehingga udara sekunder, udara primer, dan bahan bakar tercampur secara difusi dengan kondisi yang baik. Kondisi yang baik, ditunjukkan pada visualisasi api yang tidak mengalami *lift off*.

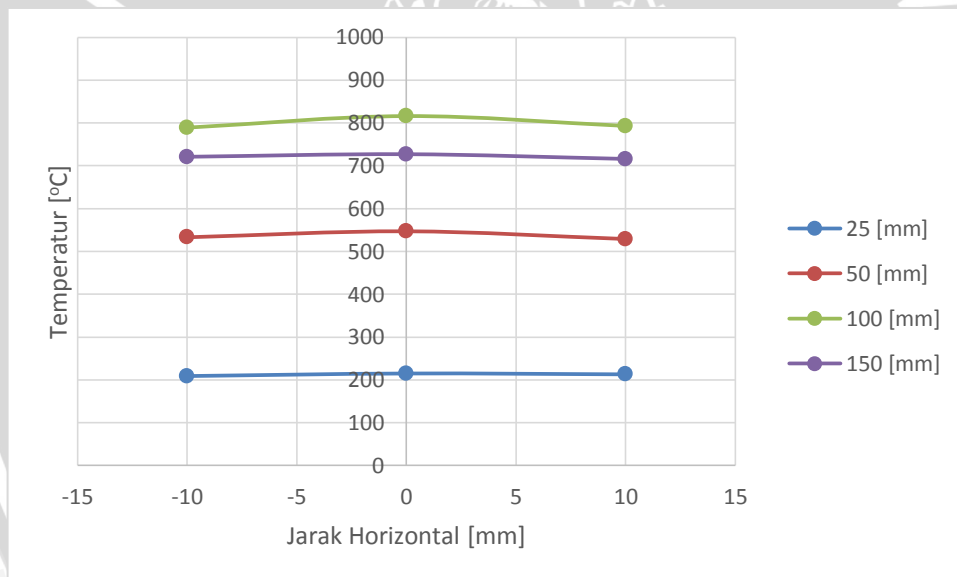
#### 4.5.3 Distribusi Temperatur



Grafik 4.37 Distribusi Temperatur api Difusi tanpa Alur dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 3,2$  m/s,  $V_{bb} = 4,8$  m/s.

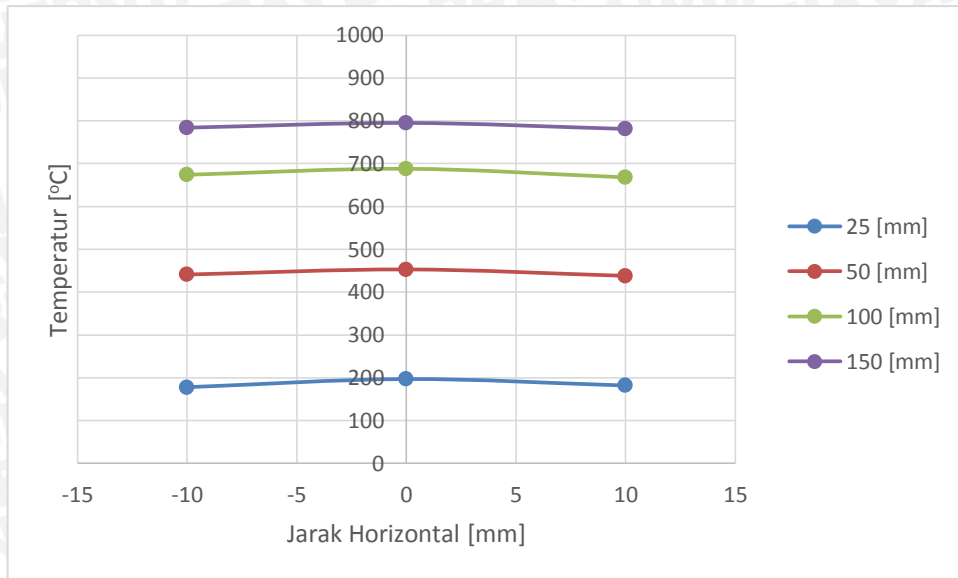


Grafik 4.38 Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur 30° & jumlah alur 2 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 3,2$  m/s,  $V_{bb} = 4,8$  m/s.

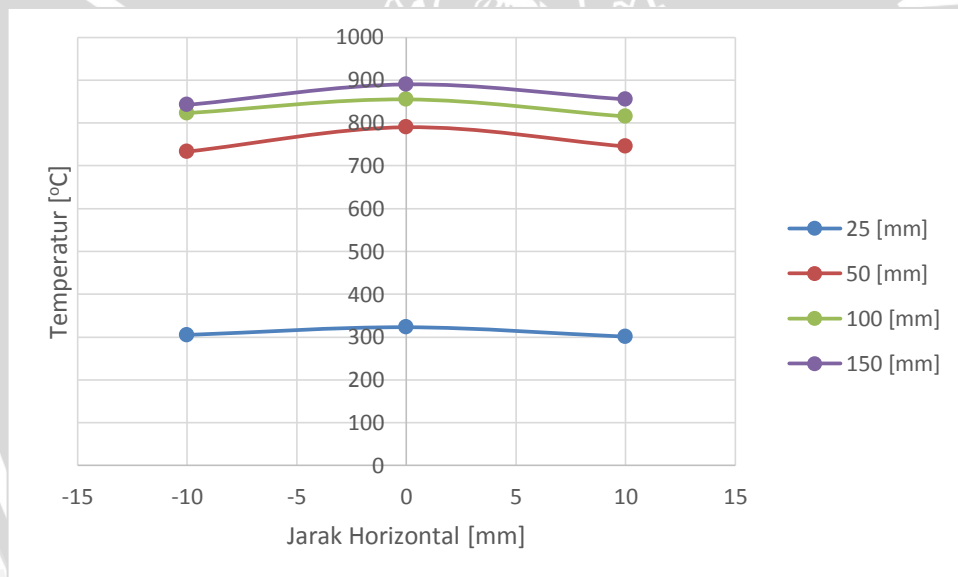


Grafik 4.39 Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur 30° & jumlah alur 3 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 3,2$  m/s,  $V_{bb} = 4,8$  m/s.

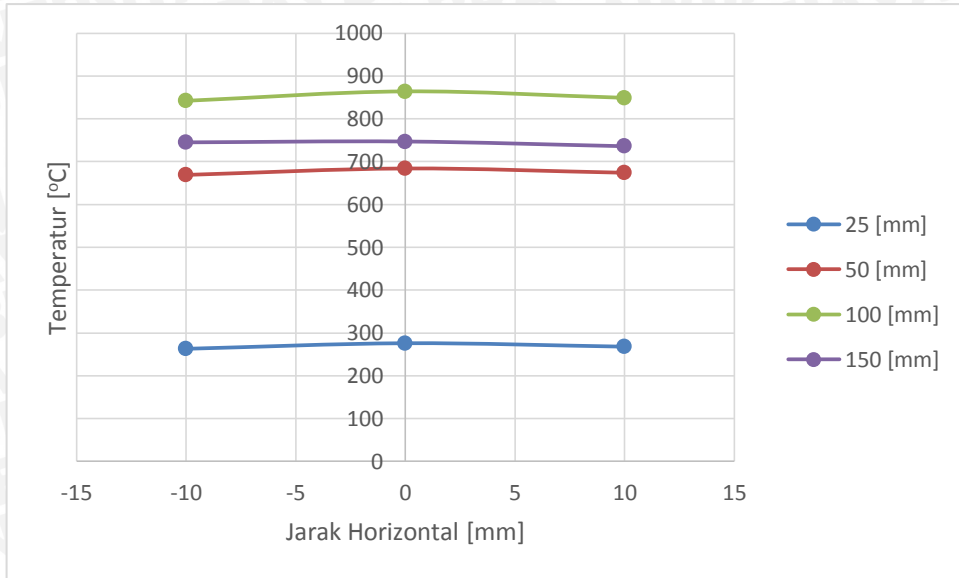




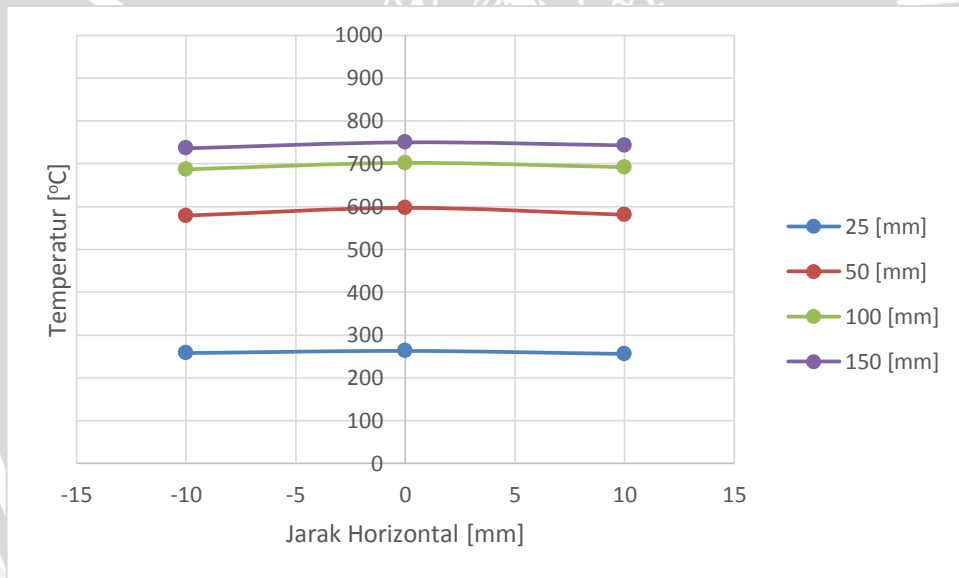
Grafik 4.40 Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur  $30^\circ$  & jumlah alur 4 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 3,2$  m/s,  $V_{bb} = 4,8$  m/s.



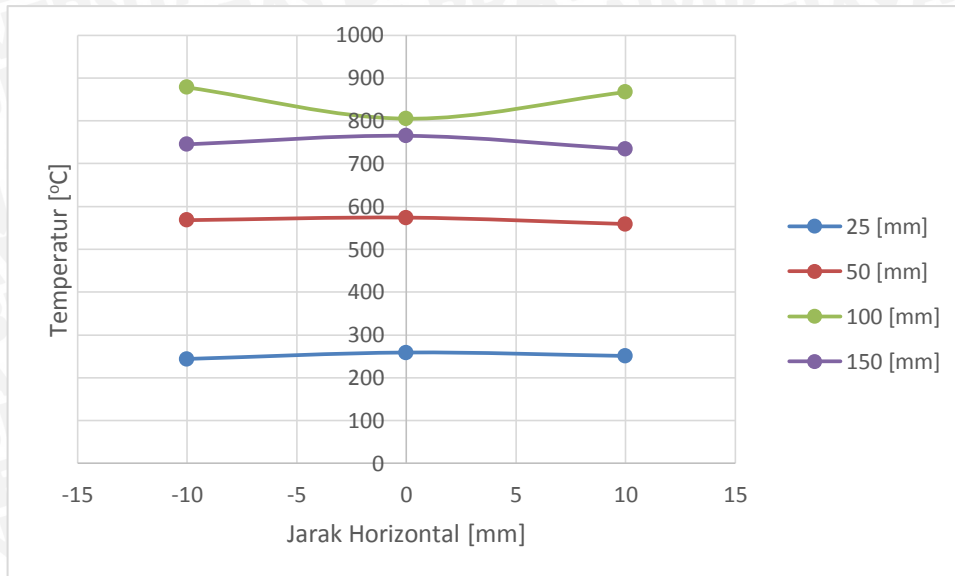
Grafik 4.41 Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur  $45^\circ$  & jumlah alur 2 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 3,2$  m/s,  $V_{bb} = 4,8$  m/s.



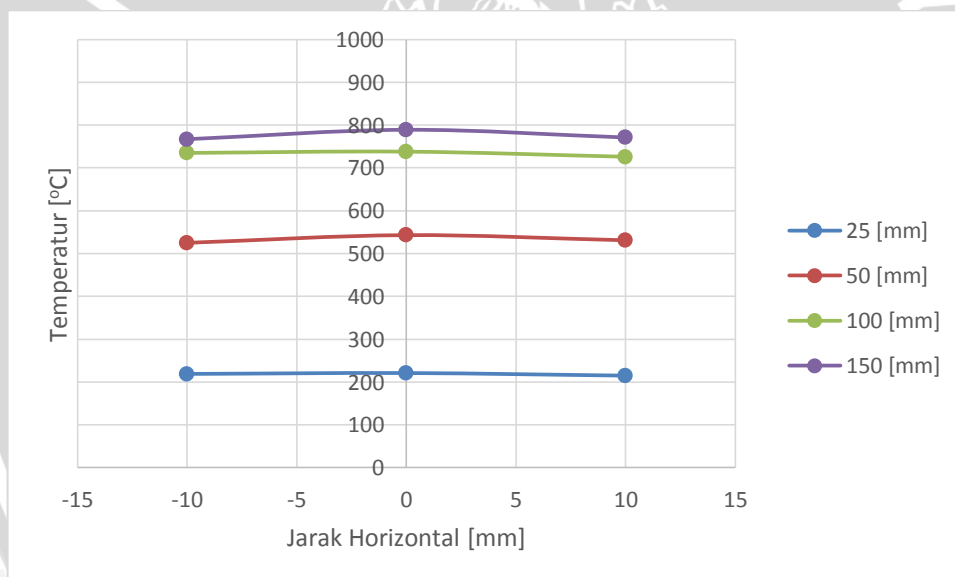
Grafik 4.42 Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur 45° & jumlah alur 3 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3 \text{ m/s}$ ,  $U_p = 3,2 \text{ m/s}$ ,  $V_{bb} = 4,8 \text{ m/s}$ .



Grafik 4.43 Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur 45° & jumlah alur 4 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3 \text{ m/s}$ ,  $U_p = 3,2 \text{ m/s}$ ,  $V_{bb} = 4,8 \text{ m/s}$ .

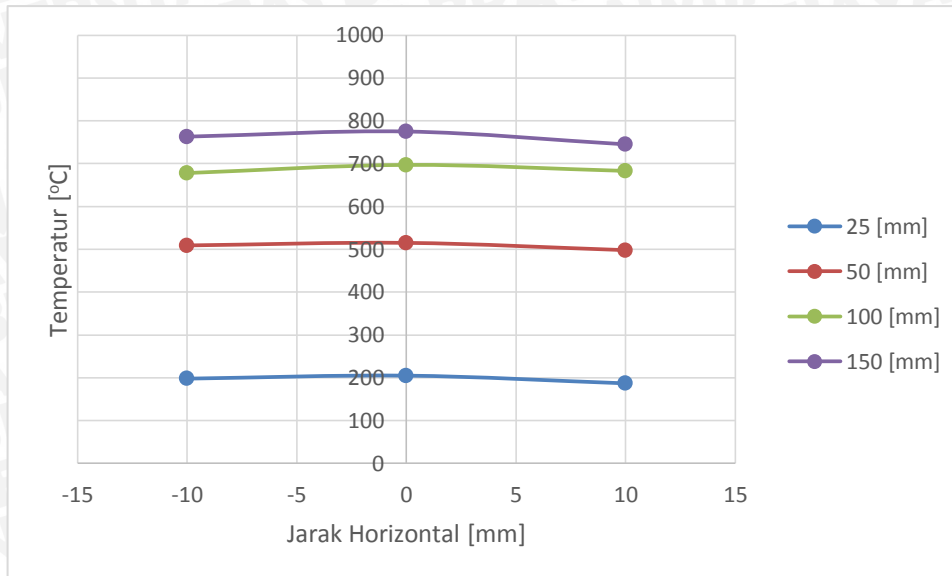


Grafik 4.44 Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur  $60^\circ$  & jumlah alur 2 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3 \text{ m/s}$ ,  $U_p = 3,2 \text{ m/s}$ ,  $V_{bb} = 4,8 \text{ m/s}$ .

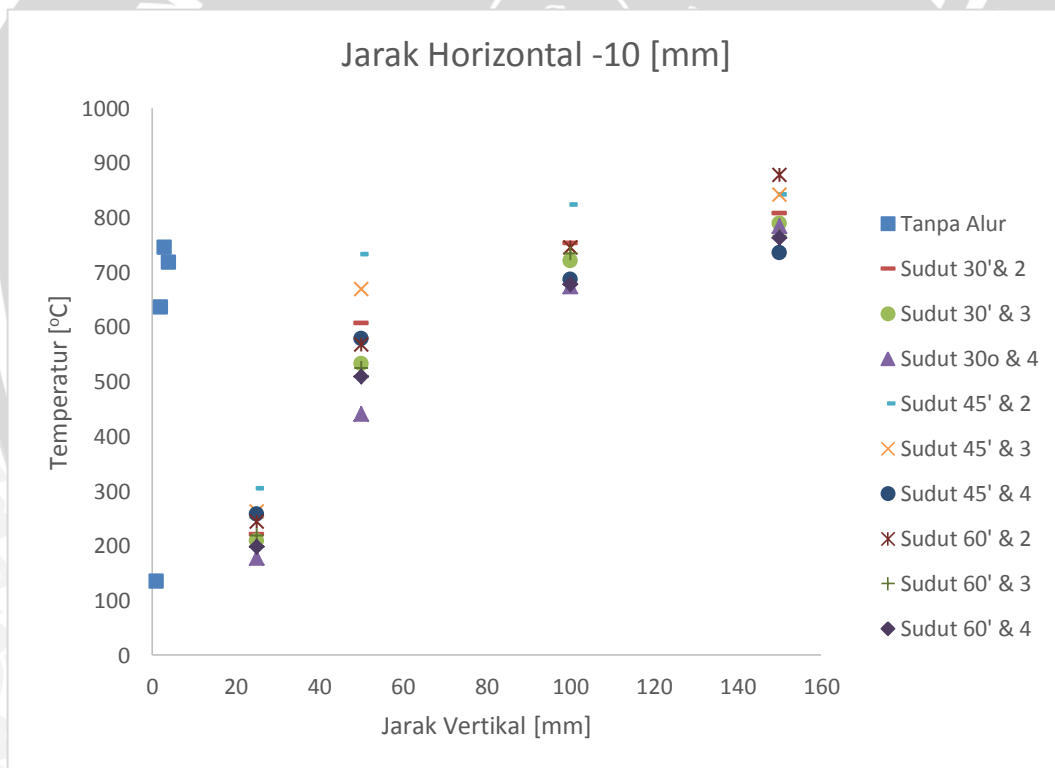


Grafik 4.45 Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur  $60^\circ$  & jumlah alur 3 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3 \text{ m/s}$ ,  $U_p = 3,2 \text{ m/s}$ ,  $V_{bb} = 4,8 \text{ m/s}$ .

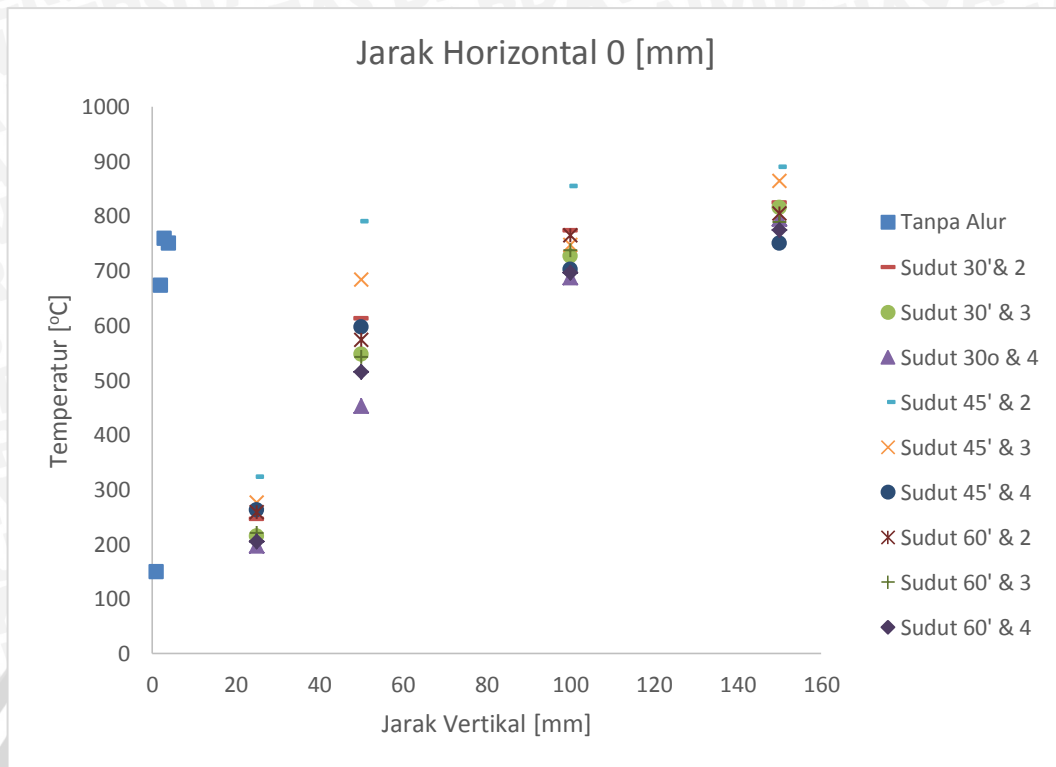




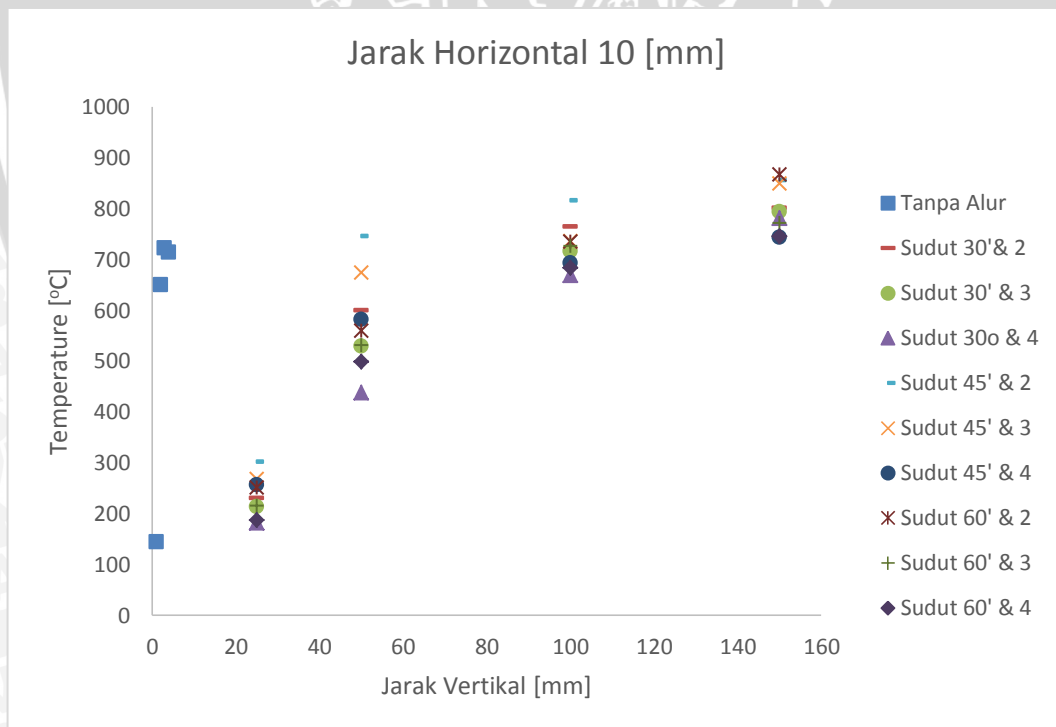
Grafik 4.46 Distribusi Temperatur api Difusi dengan pemasangan alur pada sudut alur  $60^\circ$  & jumlah alur 4 dengan variasi jarak vertikal dan Horizontal pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 3,2$  m/s,  $V_{bb} = 4,8$  m/s.



Grafik 4.47 Grafik distribusi temperatur pada jarak horizontal -10 [mm] dengan berbagai macam variasi pemasangan alur *central fuel tube* pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 3,2$  m/s,  $V_{bb} = 4,8$  m/s. api difusi *double concentric jet*



Grafik 4.48 Grafik distribusi temperatur pada jarak horizontal 0 [mm] dengan berbagai macam variasi pemasangan alur *central fuel tube* pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 3,2$  m/s,  $V_{bb} = 4,8$  m/s. api difusi *double concentric jet*



Grafik 4.49 Grafik distribusi temperatur pada jarak horizontal 10 [mm] dengan berbagai macam variasi pemasangan alur *central fuel tube* pada  $U_s = 0,3$  m/s,  $U_p = 3,2$  m/s,  $V_{bb} = 4,8$  m/s. api difusi *double concentric jet*

Grafik 4.37 sampai dengan grafik 4.46 menunjukkan hubungan antara temperatur dengan posisi peletakkan sensor secara vertikal dan horizontal pada berbagai pemasangan alur. Pengambilan distribusi temperatur ini dikondisikan pada kecepatan udara sekunder 0,3 [m/s], kecepatan udara primer 4,8 [m/s], dan kecepatan bahan bakar 3,2 [m/s]. Pada grafik terlihat bahwa temperatur yang paling tinggi ditunjukkan pada ketinggian sumbu vertikal 150 [mm]. Dan distribusi temperatur rata-rata yang terbesar terdapat pada nozel dengan pemasangan alur  $45^\circ$  dan jumlah alur 2 yaitu sebesar 689.75 [°C]. Hal ini dikarenakan pada jarak tersebut masih kaya akan bahan bakar yang sudah mengalami resirkulasi dengan udara. Ketika pada posisi di mulut nozel bahan bakar masih belum bercampur semua dengan oksigen. Oleh karena itu, pada mulut nozel masih terjadi pembakaran awal campuran yang belum sepenuhnya bahan bakar tercampur dengan udara, sehingga masih banyak bahan bakar yang belum tercampur. Dengan demikian, ketika bahan bakar dan udara sudah tercampur akibat difusi dan resirkulasi dari udara primer dan udara sekunder, pembakaran menghasilkan temperatur yang tinggi terjadi pada ketinggian 150 [mm].





## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari analisis data yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Daerah kestabilan api difusi *double concentric jet* terbesar terdapat pada pemasangan alur dengan sudut alur  $45^\circ$  dengan jumlah sudut alur 2.
2. Distribusi temperatur rata-rata terbesar terjadi pada pemasangan alur dengan alur dengan sudut  $45^\circ$  dan jumlah alur 2 sebesar  $689,75$  [ $^\circ\text{C}$ ] pada  $U_s = 0,3$  [m/s],  $U_p = 4,8$  [m/s],  $V_{bb} = 3,2$  [m/s]..
3. Semakin kecil jumlah sudut alur yang digunakan pada pemasangan alur, maka semakin luas daerah kestabilan api difusi *double concentric jet*.

### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi sudut yang lebih besar pada api difusi *double concentric jet flow*.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemasangan *alur* dengan model yang berbeda pada diameter nozel bahan bakar yang lebih besar.



## DAFTAR PUSTAKA

[http://gasdom.pertamina.com/produk\\_dan\\_services\\_elpiji\\_spesifikasi.aspx](http://gasdom.pertamina.com/produk_dan_services_elpiji_spesifikasi.aspx)

- Chomaic, J. *Combustion: A Study in Theory, Fac and Application*. Gordon and Breach Science Pub. Swtzerland (1990)
- Kuo K., 1986, *Principles of Combustion*, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Lee, B.J., 1994. Effect of Dilution on the Lift off of Non-Premixed Jet Flames, Twenty Fifth Symposium (Internasional) on Combustion/ The Combustion Institute
- Lilley, David G., 1977, *Swirl Flow in Combustion: A Review*, AIAA
- Milton, Brian E., 1995. *Thermodynamics, Combustion and Engines*, London: Chapman & Hall
- Peters, Norbert. 2010. *Combustion Theory*. CEFRC Summer School: Aachen University
- Takahashi, Fumiaki & Schmoll, W. John. 1990. *Lifting Criteria of Jet Diffusion Flame*. 23(1):677-683 Wijayanti (2003)
- Turns, Stephen R., 1996. *An Introduction to Combustion*, New York: McGraw-Hill, Inc.
- Wardana, ING. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Danar Wijaya Brawijaya University Press.
- Widodo, A. S., 2004, *Pengaruh Posisi dan Sudut Kemiringan Swirl Terhadap Kestabilan Pancaran Api Difusi Double Concentric*, Malang: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Vol. 16 No.2, Lembaga Penelitian Universitas Brawijaya.
- Wijayanti, Widya, 2003. Variasi Letak *Central Fuel Tube* Terhadap *Concentric Annuus Tube* pada Pergeseran Daerah Kestabilan Api Difusi dengan Bahan Bakar LPG, Jurnal Teknik Volume X No.3, Universitas Brawijaya Malang

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Kestabilan Api

Tabel 4.1 Data Kestabilan Api Tanpa Alur

Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]	
		Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out
0.3	3.3	2.8	6.3	0.6	3.3	6.3	20.9	0.9	3.3	6.3	14.8
0.3	4.7	4.0	6.6	0.6	4.7	6.0	23.6	0.9	4.7	6.0	6.0
0.3	5.7	4.5	4.5	0.6	5.7	5.3	5.6	0.9	5.7	5.6	5.6
0.3	6.6	5.3	5.3	0.6	6.6	6.3	6.3	0.9	6.6	5.3	5.3
0.3	7.4	5.6	5.6	0.6	7.4	4.9	5.3	0.9	7.4	4.9	4.9
0.3	8.1	6.0	6.0	0.6	8.1	5.3	5.6	0.9	8.1	4.5	4.5
0.3	8.7	6.3	6.3	0.6	8.7	4.5	4.9	0.9	8.7	4.5	4.5
0.3	9.3	6.0	6.0	0.6	9.3	5.3	5.6	0.9	9.3	4.0	4.0
0.3	9.9	6.1	6.2	0.6	9.9	4.0	4.5	0.9	9.9	4.0	4.0
0.3	10.4	5.3	5.6	0.6	10.4	4.9	4.9	0.9	10.4	3.5	3.5

Tabel 4.2 Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 30° dan Jumlah Sudut Alur 2

Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]	
		Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out
0.3	3.3	8.9	21.9	0.6	3.3	6.3	6.6	0.9	3.3	6.3	6.9
0.3	4.7	12.7	21.9	0.6	4.7	6.0	6.3	0.9	4.7	6.0	6.2
0.3	5.7	15.5	21.0	0.6	5.7	5.7	5.7	0.9	5.7	5.7	5.8
0.3	6.6	5.7	5.7	0.6	6.6	5.3	5.3	0.9	6.6	4.5	4.9
0.3	7.4	5.1	5.2	0.6	7.4	5.7	5.7	0.9	7.4	4.9	4.9
0.3	8.1	4.5	4.7	0.6	8.1	5.3	5.3	0.9	8.1	4.9	4.9
0.3	8.7	4.5	4.5	0.6	8.7	4.9	4.9	0.9	8.7	4.8	4.8
0.3	9.3	4.0	4.2	0.6	9.3	5.1	5.2	0.9	9.3	4.9	4.9
0.3	9.9	4.4	4.5	0.6	9.9	4.5	4.5	0.9	9.9	4.7	4.7
0.3	10.4	4.5	4.5	0.6	10.4	4.5	4.5	0.9	10.4	4.5	4.5



Tabel 4.3 Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 30° dan Jumlah Sudut Alur 3

Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]	
		Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out
0.3	3.3	-	-	0.6	3.3	6.3	21.9	0.9	3.3	6.3	15.5
0.3	4.7	-	-	0.6	4.7	6.3	6.3	0.9	4.7	6.3	6.3
0.3	5.7	6.3	6.3	0.6	5.7	-	6.3	0.9	5.7	6.3	6.3
0.3	6.6	6.3	6.3	0.6	6.6	-	7.7	0.9	6.6	6.3	6.3
0.3	7.4	6.3	6.3	0.6	7.4	4.5	6.0	0.9	7.4	4.5	4.5
0.3	8.1	4.5	4.5	0.6	8.1	4.0	4.0	0.9	8.1	4.0	4.0
0.3	8.7	4.5	4.5	0.6	8.7	4.0	4.0	0.9	8.7	4.0	4.0
0.3	9.3	4.5	4.5	0.6	9.3	4.0	4.0	0.9	9.3	3.5	3.5
0.3	9.9	4.0	4.0	0.6	9.9	4.0	4.0	0.9	9.9	2.8	2.8
0.3	10.4	3.5	3.5	0.6	10.4	2.8	2.8	0.9	10.4	2.0	2.0

Tabel 4.4 Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 30° dan Jumlah Sudut Alur 4

Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]	
		Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out
0.3	3.3	-	-	0.6	3.3	-	-	0.9	3.3	-	-
0.3	4.7	-	-	0.6	4.7	-	-	0.9	4.7	-	-
0.3	5.7	-	-	0.6	5.7	10.0	10.2	0.9	5.7	10.0	10.0
0.3	6.6	14.1	-	0.6	6.6	8.9	9.2	0.9	6.6	8.9	8.9
0.3	7.4	6.9	7.7	0.6	7.4	-	6.3	0.9	7.4	8.9	8.9
0.3	8.1	7.2	7.5	0.6	8.1	-	6.3	0.9	8.1	8.9	8.9
0.3	8.7	6.6	6.9	0.6	8.7	-	6.3	0.9	8.7	8.9	8.9
0.3	9.3	6.9	7.2	0.6	9.3	-	6.3	0.9	9.3	-	7.7
0.3	9.9	6.6	6.9	0.6	9.9	-	6.3	0.9	9.9	6.3	6.3
0.3	10.4	4.5	6.3	0.6	10.4	4.5	4.5	0.9	10.4	6.3	6.3

Tabel 4.5 Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 45° dan Jumlah Sudut Alur 2

Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]	
		Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out
0.3	3.3	-	-	0.6	3.3	-	-	0.9	3.3	-	-
0.3	4.7	-	-	0.6	4.7	-	-	0.9	4.7	-	-
0.3	5.7	-	-	0.6	5.7	-	-	0.9	5.7	-	-
0.3	6.6	-	-	0.6	6.6	-	-	0.9	6.6	-	-
0.3	7.4	-	-	0.6	7.4	-	-	0.9	7.4	-	-
0.3	8.1	-	-	0.6	8.1	14.1	14.1	0.9	8.1	-	-
0.3	8.7	14.1	14.1	0.6	8.7	12.7	12.7	0.9	8.7	-	-
0.3	9.3	12.7	12.7	0.6	9.3	12.7	12.7	0.9	9.3	-	-
0.3	9.9	11.0	11.0	0.6	9.9	11.8	11.8	0.9	9.9	-	-
0.3	10.4	10.0	10.0	0.6	10.4	11.8	11.8	0.9	10.4	11.0	11.0

Tabel 4.6 Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 45° dan Jumlah Sudut Alur 3

Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]	
		Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out
0.3	3.3	-	-	0.6	3.3	-	-	0.9	3.3	-	-
0.3	4.7	-	-	0.6	4.7	-	-	0.9	4.7	-	-
0.3	5.7	-	-	0.6	5.7	-	-	0.9	5.7	-	-
0.3	6.6	-	-	0.6	6.6	15.5	15.5	0.9	6.6	-	-
0.3	7.4	-	-	0.6	7.4	12.7	12.7	0.9	7.4	14.1	14.1
0.3	8.1	-	-	0.6	8.1	8.9	8.9	0.9	8.1	11.0	11.0
0.3	8.7	6.3	6.3	0.6	8.7	7.7	7.7	0.9	8.7	10.0	10.0
0.3	9.3	6.3	6.3	0.6	9.3	6.3	12.7	0.9	9.3	8.9	8.9
0.3	9.9	6.3	6.3	0.6	9.9	6.3	11.8	0.9	9.9	6.3	6.3
0.3	10.4	4.5	4.5	0.6	10.4	6.3	11.8	0.9	10.4	6.3	6.3

Tabel 4.7 Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 45° dan Jumlah Sudut Alur 4

Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]	
		Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out
0.3	3.3	8.9	-	0.6	3.3	11.8	28.3	0.9	3.3	7.7	8.9
0.3	4.7	10.0	-	0.6	4.7	11.0	21.9	0.9	4.7	8.9	11.0
0.3	5.7	8.9	-	0.6	5.7	10.0	11.0	0.9	5.7	8.9	8.9
0.3	6.6	8.9	-	0.6	6.6	8.9	10.0	0.9	6.6	8.9	8.9
0.3	7.4	8.9	-	0.6	7.4	8.9	8.9	0.9	7.4	8.9	8.9
0.3	8.1	8.9	-	0.6	8.1	8.9	8.9	0.9	8.1	7.7	7.7
0.3	8.7	7.7	-	0.6	8.7	8.9	8.9	0.9	8.7	6.3	6.3
0.3	9.3	7.7	-	0.6	9.3	7.7	7.7	0.9	9.3	6.3	6.3
0.3	9.9	7.7	-	0.6	9.9	7.7	7.7	0.9	9.9	8.9	8.9
0.3	10.4	6.3	6.3	0.6	10.4	8.9	8.9	0.9	10.4	6.3	6.3

Tabel 4.8 Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 60° dan Jumlah Sudut Alur 2

Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]	
		Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out
0.3	3.3	14.8	-	0.6	3.3	14.1	-	0.9	3.3	12.7	43.4
0.3	4.7	13.4	-	0.6	4.7	14.8	-	0.9	4.7	11.0	14.1
0.3	5.7	8.9	-	0.6	5.7	11.0	-	0.9	5.7	11.0	11.3
0.3	6.6	7.7	-	0.6	6.6	8.9	-	0.9	6.6	8.9	8.9
0.3	7.4	6.3	6.3	0.6	7.4	8.9	8.9	0.9	7.4	8.9	8.9
0.3	8.1	6.3	6.3	0.6	8.1	8.9	8.9	0.9	8.1	7.7	7.7
0.3	8.7	6.3	6.3	0.6	8.7	7.7	8.2	0.9	8.7	7.7	7.7
0.3	9.3	6.3	6.3	0.6	9.3	6.3	6.3	0.9	9.3	7.7	7.7
0.3	9.9	6.3	6.3	0.6	9.9	6.3	6.3	0.9	9.9	7.7	7.7
0.3	10.4	6.3	6.3	0.6	10.4	6.3	6.3	0.9	10.4	6.3	6.3

Tabel 4.9 Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 60° dan Jumlah Sudut Alur 3

Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]	
		Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out
0.3	3.3	10.0	-	0.6	3.3	7.7	31.0	0.9	3.3	11.8	31.6
0.3	4.7	8.9	-	0.6	4.7	7.7	28.3	0.9	4.7	8.9	8.9
0.3	5.7	7.7	7.7	0.6	5.7	6.3	6.3	0.9	5.7	7.7	7.7
0.3	6.6	6.3	6.3	0.6	6.6	6.3	6.3	0.9	6.6	6.3	6.3
0.3	7.4	6.3	6.3	0.6	7.4	6.3	6.3	0.9	7.4	6.3	6.3
0.3	8.1	6.3	6.3	0.6	8.1	6.3	6.3	0.9	8.1	4.5	4.5
0.3	8.7	6.3	6.3	0.6	8.7	6.3	6.3	0.9	8.7	4.5	4.5
0.3	9.3	6.3	6.3	0.6	9.3	6.3	6.3	0.9	9.3	4.5	4.5
0.3	9.9	6.3	6.3	0.6	9.9	4.5	4.5	0.9	9.9	4.5	4.5
0.3	10.4	4.5	4.5	0.6	10.4	4.5	4.5	0.9	10.4	4.5	4.5

Tabel 4.10 Data Kestabilan Api dengan Pemasangan Alur pada Sudut Aur 60° dan Jumlah Sudut Alur 4

Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]		Vus [m/s]	Vup [m/s]	Vbb [m/s]	
		Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out			Lift Off	Blow Out
0.3	3.3	15.5	-	0.6	3.3	20.0	33.5	0.9	3.3	-	-
0.3	4.7	12.7	-	0.6	4.7	17.9	19.0	0.9	4.7	-	-
0.3	5.7	11.0	11.0	0.6	5.7	14.1	15.8	0.9	5.7	-	-
0.3	6.6	11.0	11.0	0.6	6.6	12.7	13.0	0.9	6.6	12.7	12.7
0.3	7.4	8.9	8.9	0.6	7.4	11.0	11.1	0.9	7.4	8.9	8.9
0.3	8.1	8.9	8.9	0.6	8.1	8.9	8.9	0.9	8.1	6.3	6.3
0.3	8.7	6.3	6.9	0.6	8.7	6.3	6.3	0.9	8.7	6.3	6.3
0.3	9.3	4.5	4.5	0.6	9.3	6.3	6.3	0.9	9.3	6.3	6.3
0.3	9.9	4.5	4.5	0.6	9.9	4.5	4.5	0.9	9.9	6.3	6.3
0.3	10.4	4.5	4.5	0.6	10.4	4.0	4.2	0.9	10.4	6.3	6.3



Lampiran 2. Data Distribusi Temperatur

Tabel 4.12 Data Distribusi Temperatur tanpa Alur

Temperatur [°C]	horizontal [mm]		
vertikal [mm]	-10	0	10
25	135	149	144
50	636	673	649
100	745	759	722
150	718	750	714

Tabel 4.13 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 30° dan Jumlah Sudut Alur 2

Temperatur [°C]	horizontal [mm]		
vertikal [mm]	-10	0	10
25	221	246	230
50	607	613	599
100	753	774	764
150	808	824	801

Tabel 4.14 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 30° dan Jumlah Sudut Alur 3

Temperatur [°C]	horizontal [mm]		
vertikal [mm]	-10	0	10
25	209	215	213
50	533	547	529
100	721	727	716
150	789	816	793

Tabel 4.15 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 30° dan Jumlah Sudut Alur 4

Temperatur [°C]	horizontal [mm]		
vertikal [mm]	-10	0	10
25	178	197	182
50	441	453	438
100	674	688	668
150	784	795	781

Tabel 4.16 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 45° dan Jumlah Sudut Alur 2

Temperatur [°C]	horizontal [mm]		
vertikal [mm]	-10	0	10
25	305	323	301
50	733	790	745
100	823	855	815
150	842	890	855

Tabel 4.17 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 45° dan Jumlah Sudut Alur 3

Temperatur [°C]	horizontal [mm]		
vertikal [mm]	-10	0	10
25	263	276	268
50	669	684	674
100	745	747	736
150	842	864	849

Tabel 4.18 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 45° dan Jumlah Sudut Alur 4

Temperatur [°C]	horizontal [mm]		
vertikal [mm]	-10	0	10
25	258	263	256
50	579	597	581
100	687	702	692
150	736	750	743

Tabel 4.19 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 60° dan Jumlah Sudut Alur 2

Temperatur [°C]	horizontal [mm]		
vertikal [mm]	-10	0	10
25	244	259	251
50	568	574	559
100	745	765	734
150	878	805	867

Tabel 4.20 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 60° dan Jumlah Sudut Alur 3

Temperatur [°C]	horizontal [mm]		
vertikal [mm]	-10	0	10
25	219	221	215
50	525	543	531
100	735	738	726
150	767	789	771

Tabel 4.21 Data Distribusi Temperatur dengan Pemasangan Alur pada Sudut Alur 60° dan Jumlah Sudut Alur 4

Temperatur [°C]	horizontal [mm]		
vertikal [mm]	-10	0	10
25	198	205	187
50	509	515	498
100	678	697	683
150	763	775	745