



**OPTIMALISASI BURNER IDF MENGGUNAKAN JET UDARA CHAMFER 40°
DENGAN VARIASI DIAMETER PIPA BAHAN BAKAR DAN KECEPATAN
UDARA**

Gatut Priyo Utomo, Supardi, Zainun

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45.Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia
email: gatutpu@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Studi experimental ini menjelaskan tentang proses pembakaran atau combustion dimana menggunakan cara injeksi langsung oksidator dan bahan bakar pada suatu burner secara serentak. Pada dasarnya jenis nyala api dapat di klasifikasikan menjadi dua macam yaitu nyala api premix dan nyala api difusi. Untuk dapat mengoptimalkan efisiensi bahan bakar pada Inverse Diffusion Flame penelitian ini menggunakan burner co-axial yang di modifikasi pada pipa bahan bakar dengan tujuan, mampu mengoptimalkan pembakaran Api Inverse Diffusion Flame yang di pengaruhi oleh variasi pipa bahan bakar dan perubahan laju aliran udara (Q_a). Hasilnya jika diameter pipa bahan bakar (Θ_{fuel}) semakin kecil dan laju aliran udara (Q_a) semakin besar maka bentuk api yang keluar dari ujung jet semakin optimal, dimana $Q_{radiasi}$ di pengaruhi oleh T_s dan A_s , dari penelitian ini di dapatkan api yang paling optimal terjadi pada diameter pipa bahan bakar (Θ_{fuel}) 28 mm, pada diameter 28 mm neck api yang terjadi pada ujung jet berwarna biru, dengan kapasitas laju aliran udara (Q_a) 30 lpm di ketinggian 12 cm, menghasilkan $Q_{radiasi}$ optimal sebesar 1321,353742 W pada temperatur 1000 °C (1273 °K), dengan luas selimut 0,008906 m².

Kata kunci : Inverse diffusion flame, variasi diameter pipa bahan bakar (Θ_{fuel}), Laju aliran udara (Q_a), co-axial, zona tercampur, zona bercahaya. Radiasi.

PENDAHULUAN

Pembakaran (*combustion*) system pembakaran yang hadir terus menerus dalam kehidupan kita, yakni sumber utama konversi energy mulai dari pembangkit listrik, transportasi, manufaktur pemanas ruangan dan air conditioner, dll. Hal ini juga merupakan sumber peristiwa kerusakan, seperti ledakan, dan kebakaran hutan. Pembakaran ialah bidang interdisipliner yang berkaitan dengan thermodin

amika, kimia, mekanika fluida, dan per pindahan panas. Pada proses pembakaran selalu dimulai dengan nyala api dari reaksi bahan bakar dan Oksidator. (J. Warnatz dkk, 1996), penelitian ini tentang nyala api difusi terbalik IDF (*inverse diffusion flame*), banyak fenomena pada api difusi terbalik, bentuk nyala api yang terjadi *neck* pada bibir burner. Banyak macam struktur api pada

penelitian ini berdasarkan oleh penelitian sebelumnya tentang distribusi nyala api, suhu daerah api, dan bentuk nyala api.

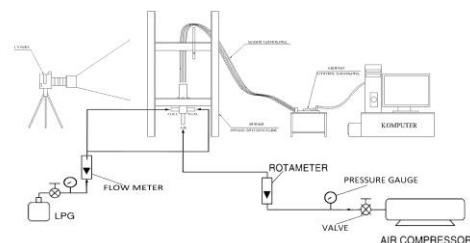
(George W dkk 1992) temperature nyala api, struktur bahan bakar, dan efek konsentrasi bahan bakar pada formasi di nyala api menyatakan efek dari perubahan suhu nyala api dan struktur bahan bakar pada bidang kimia, untuk memisahkan efek konsentrasi bahan bakar dari efek suhu nyala api dengan penambahan suatu inert. Penelitian dinamika api difusi terbalik dan perannya dalam polisiklik aromatic hidrokarbon dan pembentukan jelaga (Viswanath R dkk 2005). Menyatakan emisi biru di wilayah dasar api menunjukkan bahwa api menjadi sedikit melengkung ke udara karakteristik dan struktur api terbalik (Adrzej dkk 2005). Menyatakan bahwa rasio bahan bakar, rasio diameter nozzle bahan bakar atau udara, dan rasio kesetimbangan jet udara dapat dioptimalkan untuk menghasilkan wilayah yang diperpanjang dengan suhu yang seragam dan tinggi. Pengaruh tekanan bahan bakar dan kecepatan udara terhadap struktur api IDF dengan menggunakan bahan bakar LPG. Semakin besar kecepatan udara maka bentuk badan api semakin rendah, sedangkan api dewasa semakin cepat terjadi (.M. Ricky Rudi Saputra 2019).

Pada penelitian ini akan diteliti struktur, bentuk api dan meminimalkan terjadinya *neck* (api suhu rendah) pada pangkal api. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah diameter pipa bahan bakar dan kecepatan udara IDF (*inverse diffusion flame*) menggunakan bahan bakar LPG (*liquid petroleum gas*) dengan tekanan konstan.

Harapan dari penelitian ini dapat di ketahui struktur api, dan bentuk api IDF (*inverse diffusion flame*) *co-axial* yang dipengaruhi oleh perubahan diameter pipa bahan bakar dan kecepatan udara. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Penelitian ini menggunakan burner berbahan stainless steel.

Skema pengaturan pengujian

Bahan bakar memakai LPG aliran udara menggunakan *flow meter* dan udara yang terkompresi di ukur dengan rotameter dan melewati jet. Pada experimental dapat dilihat pada gambar dibawah :



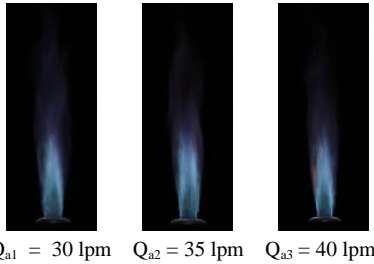
ANALISIS DATA

Hasil Penelitian Struktur Api pada Burner *co-axial* IDF Tanpa Beban.

Pada penelitian ini akan di cari perbandingan struktur api pada burner IDF dengan variasi efek perubahan diameter pipa bahan bakar dan kecepatan udara. Struktur api di meliputi bentuk api, distribusi temperatur, ketinggian api, temperature di center line, dan q radiasi.

Foto bentuk api pada burner *co-axial chamfer 40° inverse diffusion flame*

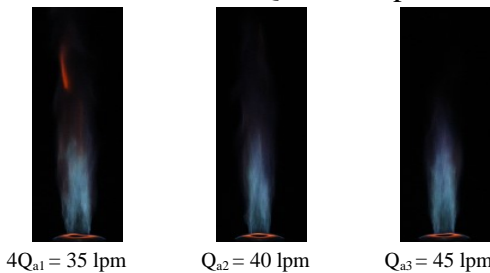
- a. Diameter dalam burner D : 28 mm, tekanan bahan bakar $P = 0,75$ bar dengan kapasitas aliran bahan bakar $Q_f = 3,5$ lpm



Gambar 1. Bentuk api tekanan 0,75 bar diameter pipa bahan bakar 28 mm dengan variasi udara.

Pada gambar diatas dapat diamati bahwa bentuk api stabil pada setiap laju aliran udara. Pada 40 lpm sedikit ada warna kuning pada badan api, pada 35 lpm sedikit terjadi turbelen, bentuk api optimal terjadi pada 30 lpm dimana bentuk badan dan neck api pada ujung jet terlihat biru atau di sebut zona tercampur optimal.

- b. Diameter dalam burner $D = 38$ mm, tekanan bahan bakar $P = 0,75$ bar dengan kapasitas aliran bahan bakar $Q_f = 3,5$ lpm



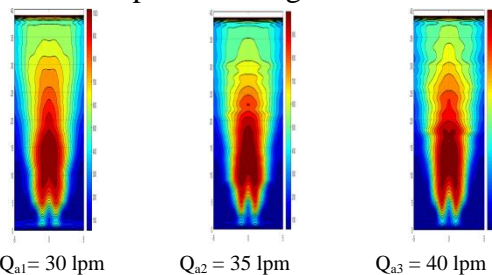
Gambar 2. Bentuk api tekanan 0,75 bar diameter dalam 38 mm dengan variasi udara.

Pada gambar di atas dapat di amati bahwa bentuk api stabil pada setiap laju aliran udara. Pada 35 lpm api berwarna biru, namun pada ujung badan api terdapat warna kuning yang di akibatkan oleh air yang tidak terfilter secara sempurna, sedangkan pada *neck* api terdapat warna kuning yang di sebabkan bahan bakar yang tidak terbakar secara optimal, pada 40 lpm neck api masih terlihat warna kuning yang di sebabkan oleh bahan bakar

yang tidak terbakar secara optimal, namun badan api terlihat stabil dan dominan warna biru, pada pada 45 lpm neck api masih tercampur warna kuning dan badan api sedikit berongga, campuran bahan bakar dan udara lebih intens pada 45 lpm.

Distribusi Temperature Api pada Burner Chamfer 40° Inverse Diffusion Flame.

- a. Dari hasil pengambilan data distribusi temperatur pada burner *coaxial Chamfer 40°* diameter 28 mm tekanan bahan bakar $P = 0,75$ bar dengan laju aliran bahan bakar 3,5 lpm serta variasi kapasitas aliran udara dapat di tampilkan sebagai berikut :

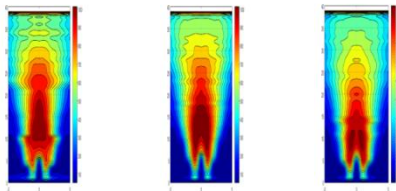


Gambar 3. Distribusi temperature api pada burner diameter 28 mm tekanan bahan bakar 0,75 bar

Hasil grafik distribusi temperatur pada burner diameter 28 mm chamfer 40° tekanan bahan bakar 0,75 bar dengan kapasitas laju aliran 3,5 lpm.

- Untuk 30 lpm di ketinggian 5 cm pada titik 0, temperatur api mencapai 650°C
- Untuk 35 lpm di ketinggian 5 cm pada titik 0, temperatur api mencapai 450°C sama dengan 40 lpm namun lebih pendek

b. Dari hasil pengambilan data di stribusi temperatur pada burner *coaxial chamfer 40°* diameter 38 mm tekanan bahan bakar $P = 0,75$ bar dengan kapasitas aliran bahan bakar 3,5 lpm serta variasi kapasitas udara dapat ditampilkan sebagai berikut :



$Q_{a1} = 35$ lpm $Q_{a2} = 40$ lpm $Q_{a3} = 45$ lpm

Gambar 4. Distribusi temperatur api pada burner diameter 38 mm tekanan bahan bakar 0,75 bar

Hasil grafik distribusi temperatur pada burner diameter 38 cm chamfer 40° tekanan bahan bakar 0,75 bar dengan kapasitas laju aliran 3,5 lpm.

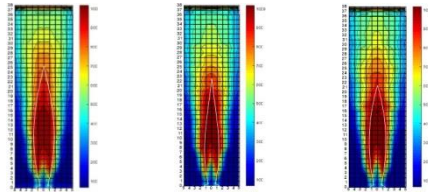
- Untuk 35 lpm di ketinggian 5 cm pada titik 0, temperatur api berada pada suhu 200 °C
- Untuk .40 lpm di ketinggian 5 cm pada titik 0, temperatur api berada pada suhu 400 °C sama dengan 45 lpm namun lebih pendek.

Ketinggian api pada burner co-axial chamfer 40° inverse diffusion flame.

Untuk mendapatkan tinggi api peneliti berpatokan dengan foto bentuk api dimana sebelumnya di olah menggunakan corel draw untuk di skala dan grafik matlab sebagai acuan. Setelah dapat gambar api di plot pada grafik

matlab contoh seperti gambar dibawah ini :

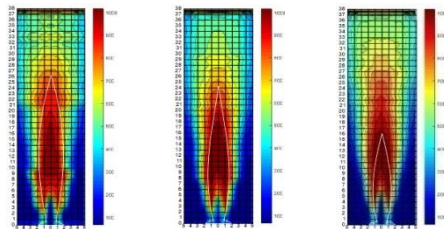
a. Diameter pipa bahan bakar 28 cm chamfer 40° tekanan bahan bakar 0,75 bar



$Q_{a1} = 30$ lpm $Q_{a2} = 35$ lpm $Q_{a3} = 40$ lpm

Gambar 5. Grafik ketinggian api burner diameter 28 mm tekanan bahan bakar 0,75 bar

b. Diameter pipa bahan bakar 38 mm chamfer 40° tekanan bahan bakar 0,75 bar



$Q_{a1} = 35$ lpm $Q_{a2} = 40$ lpm $Q_{a3} = 45$ lpm

Gambar 6. Grafik ketinggian api burner diameter 38 mm tekanan bahan bakar 0,75 bar

Hasil tinggi api berpatokan pada foto bentuk api, dimana sebelumnya di olah menggunakan corel draw untuk skala dan grafik matlab sebagai acuan. Hasil data ketinggian bisa di lihat pada tabel 3 :

Tabel 1. Grafik ketinggian api diameter 28 & 38 mm dengan tekanan bahan bakar 0,75 bar, dan variasi kecepatan udara.

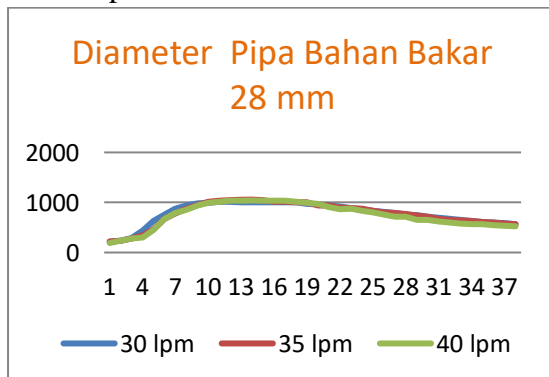
Diameter dalam pipa Bahan Bakar (mm)	Tekanan Bahan Bakar (bar)	Laju Aliran Udara (lpm)	Tinggi Api (cm)
28	0,75	30	25,2
		35	22,5
		40	21,2

38	0,75	35	26
		40	24,2
		45	16

Temperatur di center line pada burner co-axial diameter 28 cm chamfer 40°

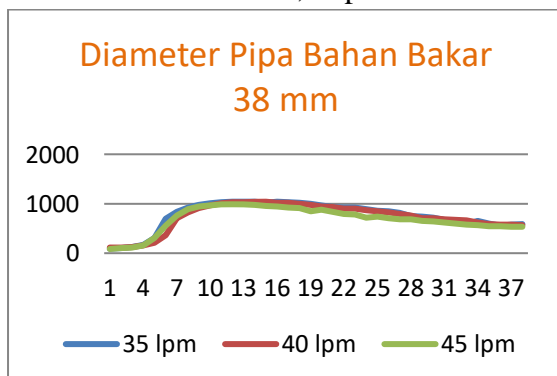
Dengan perubahan variasi diameter pipa bahan bakar juga pengaturan kapasitas aliran udara pada burner co-axial IDF. Mengetahui konsentrasi campuran di garis tengah api menjadi indicator tingkat pembakaran dalam nyala api.

- Diameter dalam pipa bahan bakar 28 mm chamfer 40° dengan tekanan bahan bakar 0,75 bar dan laju aliran bahan bakar 3,5 lpm.



Gambar 7. Grafik temperatur center line diameter dalam pipa bahan bakar 28 mm, tekanan bahan bakar 0,75 bar

- Diameter dalam pipa bahan bakar 38 mm chamfer 40° dengan tekanan bahan bakar 0,75 bar, laju aliran bahan bakar 3,5 lpm



Gambar 8. Grafik temperatur center line diameter dalam pipa bahan bakar 38 mm, tekanan bahan bakar 0,75 bar

Dari grafik temperatur di centerline dapat di amati konsentrasi campuran udara dan bahan bakar hingga menghasilkan suhu api paling optimal dan bahan bakar yang terbakar secara optimal. Didapat kapasitas aliran udara 30 lpm dengan tekanan bahan bakar 0,75 bar pada diameter pipa bahan bakar 28 mm temperature 1040 °C di ketinggian 12 cm. Dari tekanan bahan 0,75 bar pada diameter pipa bahan bakar 38 mm di dapat kapasitas aliran udara 45 lpm temperatur 1011 °C pada ketinggian 16 cm.

Perpindahan panas secara radiasi

Hasil dari proses pembakaran akan mengeluarkan emisi gas panas, pada penelitian ini emisi gas panas terbentuk dari nyala api, hal ini akan mengakibatkan suatu perpindahan panas secara radiasi (q_r). Penelitian ini mengasumsi radiasi terjadi pada setiap luasan selimut api.

Debit aliran

$$Q = V \cdot A$$

Dimana :

$$V = 0,003385112 \text{ m/s}$$

$$A = 0,01723232 \text{ m}^2$$

$$Q = V \cdot A$$

$$= 0,003385112 \cdot 0,01723232$$

$$= 0,00005833333 \text{ m}^3/\text{s}$$

Air fuel Ratio (AFR)

Mencari AFR pada nyala api tekanan bahan bakar 0,75 bar, dengan laju aliran bahan bakar 3,5 lpm dan laju aliran udara 30 lpm

$$AFR = \frac{Ma}{Mf}$$

Dimana :

$$Q_f = 3,5 \text{ lpm} = 5,8333$$

$$Q_a = 30 \text{ lpm} = 0,0005$$

$$A_f = 0,00019147 \text{ m}^2$$

$$A_a = 0,00261667 \text{ m}^2$$

$$\rho_f = 2,58$$

$$\rho_a = 1,29$$

$$AFR = \frac{Ma}{Mf}$$

$$= \frac{Q_a \cdot \rho_a}{Q_f \cdot \rho_f} = \frac{0,0005 \cdot 1,29}{5,8333 \cdot 2,58}$$

$$= 28,52742857$$

Selanjutnya mencari rasio ekuivalen :

$$\Phi = \frac{AFR_{stoik}}{AFR_{aktual}}$$

$$= \frac{15,6}{28,25742857}$$

$$= 0,546842137$$

Sebagai contoh perhitungan q_r pada titik 0-1 :

- Garis pelukis

$$S = \sqrt{(r_0 + r_1)^2 + L^2}$$

$$S = \sqrt{(0,014 + 0,009)^2 + 0,01^2}$$

$$S = 0,02507987241 \text{ m}$$

Setelah mendapatkan garis pelukis, langkah selanjutnya ialah mencari luasan selimut kerucut teroancung pada ketinggian 0-1 :

- Luas selimut kecurut terpancung

$$A_s = 2\pi r s$$

$$A_s = 2\pi(r_0 + r_1)s$$

$$A_s = 2\pi(0,014 + 0,009)s$$

$$As = 2 \times 3,14 \times 0,023 \times 0,02507987241$$

$$= 0,00362253677 \text{ m}^2$$

Selanjutnya, mencari laju perpindahan panas secara radiasi yang pada selimut api pada *burner Co-axial Chamfer* 40° dengan $P_{fuel} = 0,75 \text{ bar}$; $Q_{fuel} = 3,5 \text{ lpm}$; $P_{air} = 6 \text{ bar}$; $Q_{air} = 30 \text{ lpm}$, sebagai contoh perhitungan pada ketinggian 0-1cm :

$$q_{r\ 0-1} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_\infty^4)$$

Dimana :

- $q_{r\ 0-1}$ = Laju perpindahan panas (W)
- ε = 1 Emisivitas gas panas (*Blackbody*)
- σ = $(5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}) / 0,0000000567$
- A_s = $0,00362253677 \text{ (m}^2\text{)}$
- T_s = $688 \text{ }^\circ\text{(K)}$
- T_∞ = $311 \text{ }^\circ\text{(K)}$

Sehingga,

$$q_{r\ 0-1} = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\times 0,00362253677 \cdot$$

$$(688^4 - 311^4)$$

$$= \mathbf{44,09883095782 \text{ W}}$$

Tabel 2. Laju perpindahan panas radiasi diameter pipa bahan bakar 28 mm dengan $Q_a = 30$ lpm

Ketinggian Api	D 28 mm ; Q_a 30 lpm					
	Jari-Jari		Luas Permukaan (S. Kerucut Terpancung)	Temperatur Permukaan (S. Kerucut Terpancung)		Laju Perpindahan Panas
	r_1	r_2	A_s	T_s		Q
H	r_1	r_2	A_s	$^{\circ}C$	$^{\circ}K$	Watt
Cm	M	m	m^2	$^{\circ}C$	$^{\circ}K$	Watt
0-1	0,014	0,009	0,003623	415	688	44,09883104
1-2	0,009	0,001	0,002562	465	738	41,73067272
2-3	0,01	0,011	0,003067	655	928	127,3619033
3-4	0,011	0,012	0,003623	855	1128	330,6096062
4-5	0,012	0,013	0,004227	900	1173	451,5360433
5-6	0,013	0,014	0,004882	920	1193	558,1297466
6-7	0,014	0,014	0,005228	945	1218	649,6299871
7-8	0,014	0,015	0,005587	975	1248	765,4481862
8-9	0,015	0,016	0,006341	995	1268	926,1143792
9-10	0,016	0,017	0,007146	1000	1273	1060,257478
10-11	0,017	0,018	0,008001	1000	1273	1187,086758
11-12	0,018	0,019	0,008906	1000	1273	1321,353742
12-13	0,019	0,018	0,008906	1000	1273	1321,353742
13-14	0,018	0,017	0,008001	1000	1273	1187,086758
14-15	0,017	0,016	0,007146	1000	1273	1060,257478
15-16	0,016	0,015	0,006341	1000	1273	940,8618578
16-17	0,015	0,014	0,005587	1000	1273	828,8945546
17-18	0,014	0,013	0,004882	955	1288	626,8835784
18-19	0,013	0,012	0,004227	900	1173	451,5360433
19-20	0,012	0,011	0,003339	885	1158	338,6419488
20-21	0,01	0,009	0,002562	875	1148	250,9393941
21-22	0,009	0,006	0,001698	860	1133	157,7693912
22-23	0,006	0,003	0,00076	820	1093	61,12924802
23-24	0,003	0,002	0,000351	770	1043	23,36997181
24-25	0	0	0	0	0	0
25-26	0	0	0	0	0	0

Tabel 3. Laju perpindahan panas radiasi diameter pipa bahan bakar 28 mm dengan $Q_a = 35$ lpm

D 28 mm ; Q_a 35 lpm					
Jari-Jari		Luas Permukaan (S. Kerucut Terpancung)	Temperatur Permukaan (S. Kerucut Terpancung)		Laju Perpindahan Panas
r_1	r_2	A_s	T_s		Q
M	M	m^2	$^{\circ}C$	$^{\circ}K$	Watt
0,014	0,008	0,003339	422,5	695,5	42,52459627
0,008	0,009	0,002106	555	828	54,99925387
0,009	0,011	0,002809	780	1053	194,2915883
0,011	0,012	0,003623	905	1178	393,6063218
0,012	0,012	0,003919	915	1188	440,5027046
0,012	0,013	0,004227	930	1203	499,7698472
0,013	0,015	0,005228	955	1228	671,3206831
0,015	0,015	0,005958	985	1258	842,8713435
0,015	0,015	0,005958	1000	1273	883,9500642
0,015	0,015	0,005958	1000	1273	883,9500642
0,015	0,015	0,005958	1000	1273	883,9500642
0,015	0,014	0,005587	1000	1273	828,8945546
0,014	0,012	0,004548	1000	1273	674,8553351
0,012	0,011	0,003623	1000	1273	537,4766922
0,011	0,011	0,003339	1000	1273	495,3767064
0,011	0,01	0,003067	1000	1273	455,1184108
0,01	0,009	0,002562	1000	1273	380,11109
0,009	0,008	0,002106	960	1233	274,8257029
0,008	0,005	0,001339	910	1183	147,9864085
0,005	0,002	0,000537	898,5	1171,5	57,02176311
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Tabel 4. Laju perpindahan panas radiasi diameter pipa bahan bakar 28 mm dengan $Q_a = 40$ lpm

D 28 mm ; Q_a 40 lpm					
Jari-Jari		Luas Permukaan (S. Kerucut Terpancung)	Temperatur Permukaan (S. Kerucut Terpancung)		Laju Perpindahan Panas
r_1	r_2	A_s	T_s		q
m	M	m^2	$^{\circ}C$	$^{\circ}K$	Watt
0,014	0,008	0,003339	455	728	51,40277547
0,008	0,009	0,002106	605	878	69,83182375
0,009	0,01	0,002562	830	1103	213,6462243
0,01	0,011	0,003067	955	1228	393,8798748
0,011	0,011	0,003339	977,5	1250,5	461,1497107
0,011	0,011	0,003339	992,5	1265,5	483,7638684
0,011	0,011	0,003339	1000	1273	495,3767064
0,011	0,011	0,003339	1000	1273	495,3767064
0,011	0,011	0,003339	1000	1273	495,3767064
0,011	0,011	0,003339	1000	1273	495,3767064
0,011	0,011	0,003339	1000	1273	495,3767064
0,011	0,01	0,003067	1000	1273	455,1184108
0,01	0,01	0,002809	1000	1273	416,6980564
0,01	0,009	0,002562	1000	1273	380,11109
0,009	0,008	0,002106	1000	1273	312,4137926
0,008	0,007	0,001698	1000	1273	251,9645351
0,007	0,006	0,001339	1000	1273	198,6671078
0,006	0,004	0,000888	1000	1273	131,7714955
0,004	0,002	0,000439	965	1238	58,29253501
0,002	0,001	0,000197	915	1188	22,11049641
0,001	0,001	0,000128	885	1158	12,99147062
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Tabel 7. Laju perpindahan panas radiasi diameter pipa bahan bakar 38 mm dengan Q_a 35 lpm

D 38 mm ; Q_a 35 lpm						
Ketinggian Api	Jari-Jari		Luas Permukaan (S. Kerucut Terpancung)	Temperatur Permukaan (S. Kerucut Terpancung)		Laju Perpindahan Panas
	r_1	r_2	A_s	T_s		q
h	m	m	m^2	$^{\circ}C$	$^{\circ}K$	Watt
0-1	0,019	0,009	0,005228	410	683	61,7343
1-2	0,009	0,001	0,002562	515	788	54,6493
2-3	0,001	0,011	0,003067	695	968	151,081
3-4	0,001	0,012	0,003623	795	1068	265,3058
4-5	0,001	0,013	0,004227	825	1098	346,144
5-6	0,001	0,014	0,004882	860	1133	453,5559
6-7	0,001	0,015	0,005587	915	1188	627,9959
7-8	0,001	0,018	0,007146	975	1248	979,1018
8-9	0,001	0,018	0,008447	1000	1273	1253,29
9-10	0,001	0,019	0,008906	1000	1273	1321,354
10-11	0,001	0,019	0,009377	1000	1273	1391,277
11-12	0,001	0,019	0,009377	1000	1273	1391,277
12-13	0,001	0,019	0,009377	1000	1273	1391,277
13-14	0,001	0,019	0,009377	1000	1273	1391,277
14-15	0,001	0,019	0,009377	1000	1273	1391,277
15-16	0,001	0,019	0,008906	1000	1273	1321,354
16-17	0,001	0,018	0,008447	1000	1273	1253,29
17-18	0,001	0,018	0,007146	1000	1273	1060,257
18-19	0,001	0,015	0,005587	955	1228	717,3625
19-20	0,001	0,014	0,004548	900	1173	485,8337
20-21	0,001	0,012	0,003623	875	1148	354,828
21-22	0,001	0,011	0,003067	850	1123	274,9904
22-23	0,001	0,009	0,002562	830	1103	213,6462
23-24	0,001	0,005	0,000643	810	1083,15	49,87091
24-25	0,001	0,003	0,000643	795	1068,15	47,1467
25-26	0	0	0	0	0	0
26-27	0	0	0	0	0	0

Tabel 2. Laju perpindahan panas radiasi diameter pipa bahan bakar 38 mm dengan $Q_a = 40$ lpm

D 38 mm ; Q_a 40 lpm					
Jari-Jari		Luas Permukaan (S. Kerucut Terpancung)	Temperatur Permukaan (S. Kerucut Terpancung)		Laju Perpindahan Panas
r_1	r_2	A_s	T_s		q
m	m	m^2	$^{\circ}C$	$^{\circ}K$	Watt
0,019	0,008	0,002521	465	738	41,05927
0,008	0,01	0,001153	705	978	59,18662
0,01	0,011	0,001325	940	1213	161,9889
0,011	0,012	0,001452	965	1238	192,5665
0,013	0,013	0,001633	985	1258	231,0007
0,013	0,013	0,001633	995	1268	238,4617
0,013	0,013	0,001633	1000	1273	242,2589
0,013	0,012	0,001578	1000	1273	234,1031
0,012	0,011	0,001452	1000	1273	215,3749
0,011	0,01	0,001325	1000	1273	196,6466
0,01	0,01	0,001256	1000	1273	186,353
0,01	0,009	0,001199	1000	1273	177,9184
0,009	0,007	0,001025	1000	1273	152,0348
0,007	0,004	0,000721	1000	1273	107,0071
0,004	0,002	0,000384	1000	1273	57,01307
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Tabel 10. Laju perpindahan panas radiasi diameter pipa bahan bakar 38mm dengan $Q_a = 45$ lpm

D 38 mm ; Q_a 45 lpm					
Jari-Jari		Luas Permukaan (S. Kerucut Terpancung)	Temperatur Permukaan (S. Kerucut Terpancung)		Laju Perpindahan Panas
r_1	r_2	A_s	T_s		q
M	M	m^2	$^{\circ}C$	$^{\circ}K$	Watt
0,019	0,009	0,002487	435	708	34,10914
0,009	0,01	0,001199	675	948	54,27886
0,01	0,011	0,001325	910	1183	146,4813
0,011	0,012	0,001452	930	1203	171,6128
0,012	0,013	0,001578	950	1223	199,3101
0,013	0,014	0,001704	970	1243	229,7452
0,014	0,015	0,00183	990	1263	263,0966
0,015	0,015	0,001884	1000	1273	279,5296
0,015	0,015	0,001884	1000	1273	279,5296
0,015	0,015	0,001884	1000	1273	279,5296
0,015	0,014	0,00183	1000	1273	271,5596
0,014	0,014	0,001758	1000	1273	260,8943
0,014	0,012	0,001665	1000	1273	247,0566
0,012	0,011	0,001452	1000	1273	215,3749
0,011	0,011	0,001382	1000	1273	204,9883
0,011	0,01	0,001325	1000	1273	196,6466
0,01	0,01	0,001256	1000	1273	186,353
0,01	0,009	0,001199	1000	1273	177,9184
0,009	0,008	0,001073	970	1243	144,6544
0,008	0,005	0,000852	925	1198	99,09453
0,005	0,003	0,000512	890	1163	52,87395
0,003	0,002	0,000316	860	1133	29,31707
0,002	0,001	0,000189	842,5	1115,5	16,52232
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Tabel 11. Rekapitulasi perhitungan AFR & Rasio ekivalen(Φ)

Diameter pipa bahan bakar (mm)	Kapasitas aliran bahan bakar	Kapasitas aliran udara	AFR actual	AFR stoikiometri	Rasio ekivalen (shie) Φ
28	3,5	30 Lpm	28,52742857	15,6	0,546842137
		35 Lpm	33,282	15,6	0,468721832
		40 Lpm	38,03657143	15,6	0,410131603
38	3,5	35 Lpm	33,282	15,6	0,468721832
		40 Lpm	38,03657143	15,6	0,410131603

		45 Lpm	42,79114 286	15,6	0,364561 425
--	--	-----------	-----------------	------	-----------------

Rasio Ekuivalen (Equivalent Ratio, Φ)

Rasio ekuivalen merupakan perbandingan antara nilai rasio udara - bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) stoikiometrik dengan nilai rasio udara - bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) aktual, dan dapat juga sebagai pembandingan antara rasio bahan bakar - udara (*Fuel Air Ratio*) stoikiometrik dengan rasio bahan bakar - udara (*Fuel Air Ratio*) aktual.

$$\Phi = \frac{AFR_{stoik}}{AFR_{aktual}}$$

- Jika $\Phi > 1$ menunjukkan kelebihan bahan bakar dari pada campurannya maka dapat disebut sebagai campuran kaya bahan bakar (*fuel rich mixture*)
- Jika $\Phi < 1$ menunjukkan kelebihan campuran dari pada bahan bakar maka dapat disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*fuel lean mixture*)
- Jika $\Phi = 1$ menunjukkan campuran stoikiometrik (pembakaran sempurna)

KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa, $Q_{radiasi}$ di pengaruhi oleh T_s dan A_s , di mana dari penelitian ini di dapatkan bentuk api dengan pembakaran yang paling optimal dengan *neck* api berwarna biru terjadi pada diameter pipa bahan bakar (Θ_{fuel}) 28 mm, dimana pada diameter

28 mm fenomena *neck* api yang terjadi pada ujung jet juga berwarna biru, dengan kapasitas laju aliran udara (Q_a) 30 lpm di ketinggian 12 cm, di mana pada ketinggian 12 cm menghasilkan $Q_{radiasi}$ optimal sebesar **1321,353742 W** pada temperatur **1000 °C (1273 °K)**, dengan luas selimut kerucut terpancung **0,008906 m²**.

5.2 Saran

Dari percobaan api IDF (*Inverse Diffusion Flame*) yang telah di lakukan, penulis memberikan saran :

1. Agar pengukuran lebih akurat sebaiknya mekanisme termokopel di kontrol secara otomatis oleh robot.
2. Dalam pembuatan burner bahan bakar Inverse Diffusion Flame sebaiknya diameter bagian dalam lebih kecil.
3. Dalam pembuatan burner pipa udara sebaiknya lebih pendek dari pada burner pipa bahan bakar juga di berikan chamfer dalam pipa udara yang lebih lebar untuk menghindari fenomena neck api atau api suhu rendah yang terjadi pada pangkal badan api.
4. Pada penelitian alangkah baiknya menggunakan kompresor dengan kapasitas diatas 10 bar dengan tipe pengering udara silica atau menggunakan filter driyer agar kandungan air dalam kompresor dapat terfilter secara baik dan udara

benar-benar dalam kondisi kering.

DAFTAR PUSTAKA

1. Law, Chung K. 2006. *Combustion Physics*. Cambridge University Press. Cambridge.
2. Akbar, Ilham fadilah.2019. Kaji eksperimen pengaruh rasio panjang pipa udara - bahan bakar terhadap karakteristik api pada *inverse diffusion flame* berbahan bakar LPG [Skripsi]. Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
3. Glassman, I., Yetter, R.A., Glumac, N.G. 2015. *Combustion*.5th edition. Oxford .
4. El-Mahallawy, F., Habik, S E-Din., 2002. *Fundamentals and Technology of Combustion*. (1st Edition). Elsevier Science. 862.
5. Dong, L.L, Cheung, C.S, Leung,C.W. 2012. *Heat Transfer optimization of an impinging port-array inverse diffusion flame jet*. *Sciencedirect*. 49 : 182-192.
6. Sze, L.K, Cheung, C.S, Leung, C.W. 2004. *Temperature distribution and Heat transfer characteristics of an Inverse Diffusion Flame with circumferentially arranged fuel port*. *Sciencedirect*. 47 : 3119-3129.
7. Wu , K.T., Essenhigh , R.H . *Mapping and structure of inverse diffusion flame of methane : Twentieth symposium International on combustion*. 1984, pp : 1925-1932.
8. Ng , T.K, Leung , C.W, Cheung , C.S. 2007. *Experimental investigation on the heat transfer of an impinging inverse diffusion flame*. *Sciencedirect*. 50 : 3366-3375.
9. McAllister, Sara, Chen , J.Y., Fernandez-Pello , A.C. 2011. *Fundamentals of Combustion Processes*. Springer Science and business media. New York.
10. Mahesh , S. , Mishra , D.P. 2010. *Flame structure of LPG-air inverse diffusion flame in a backstep burner*. *Sciencedirect* . 89 : 2145-2148.
11. Kamal,M.M . 2007. *Innovative study of co-axial normal and inverse diffusion flames*. *Proceedings of Institution of Mechanical Engineers Part A journal of Power and Energy*. 222 (2) : 253-270.
12. Mandala, Felicia Angraini., Dhipura, I Made Kartika. 2013. Fenomena *Flashback* Diruang Bakar Jet Menggunakan *Flame Holder* [Jurnal]. Universitas Indonesia
13. Scholefield, D.A.; Garside, J.E. 1948. *The structure and stability of diffusion flames*. *Symposium on Combustion and Flame, and Explosion Phenomena*. 3 (1): 102–110.
14. Kreith, Frank. 1973 . *Principles of heat transfer*. 3rd edition. New York.
15. Sidebotham GW, and Glassman I. 1992. *Flame temprature, fuel structure, and fuel concentration effect on inverse diffusion flame*. *Combust Flame*. 90: 269-283.
16. Warnatz, J., Maas, U., & Dibble, R. (1996). *Combustion: physical*

- and chemical fundamentals, modelling and simulation, experiments, pollutant formation. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.*
17. Sobiesiak. A & Wenzell J. C. (2005). *Characteristic and structure of inverse flames of natural gas. Proceedings of the Combustion Institute 30, 743 - 749.*
18. Sohib, Muchamad. 2019. *Pengaruh tekanan bahan bakar dan kecepatan udara terhadap struktur api IDF CoA menggunakan ujung jet udara chamfer 40° [Skripsi]. Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya*