



MEKANIKA : JURNAL TEKNIK MESIN

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Volume 7 No. 1 (2021)

ISSN: 2460-3384 (p); 2686-3693 (e)

Pengaruh Sudut Chamfer Luar Jet Udara Terhadap Laju Panas Radiasi Pada Inverse Diffusion Flame Model Burner Co-Axial.

Gatut Priyo Utomo, Hernanda Atrila S., M. Sahrul Mubarak

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: gatut-pu@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Studi eksperimental ini menjelaskan mengenai proses pembakaran atau combustion dimana menggunakan fitur injeksi langsung bahan bakar dan oksidator pada suatu burner secara simultan. Pada dasarnya nyala api dapat diklasifikasikan dua macam yaitu nyala api premix dan nyala api difusi. Untuk dapat meningkatkan temperatur nyala api, dan memaksimalkan efisiensi bahan bakar pada Inverse Diffusion flame maka penelitian eksperimentasi ini menggunakan burner model co-axial yang dimodifikasi sedemikian rupa dengan tujuan, mampu menentukan karakteristik api inverse diffusion flame yang dipengaruhi oleh chamfer luar jet udara dan perubahan kapasitas aliran udara (Q_a). Hasilnya jika derajat sudut chamfer nya semakin besar dan kapasitas udara semakin besar maka api yang keluar dari jet burner memiliki laju perpindahan panas yang semakin tinggi. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa q_r tergantung pada sudut chamfer dan dari penelitian ini q_r terbaik pada sudut chamfer 60° dengan kapasitas aliran udara (Q_a) 28 Lpm menghasilkan energi sebesar 175,5389542 Watt karena pada temperatur selimut api (T_s) 1295 K dan luas selimut api (A_s) $0,001104481m^2$.

Kata kunci : Inverse diffusion flame, chamfer luar jet udara, burner co-axial.

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam beberapa dekade ini, di bidang industri banyak menggunakan teknologi pemanas pelampiasan api yang bertujuan untuk peningkatan laju perpindahan panasnya dan menarik minat untuk penelitian yang konsisten (LL Dong, Dkk, 2012). Api difusi merupakan suatu konfigurasi api dari salah satu konfigurasi api dalam perihal pembakaran. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk memahami dan menganalisa karakteristik nyala api (LK Sze, Dkk, 2004). *Inverse Diffusion Flame* adalah jenis konfigurasi api dengan jet udara bagian dalam dikelilingi oleh jet bahan bakar pada bagian luarnya (Ilham, 2019). Para peneliti membuktikan bahwa *Inverse diffusion flame* dapat menyala menggunakan konfigurasi pembakar koaksial sederhana ketika jet udara kecepatan tinggi yang dikelilingi oleh jet bahan bakar berbentuk cincindengan kecepatan rendah dinyalakan. Momentum relatif antara jet udara dan bahan bakar memastikan tingkat pencampuran lebih baik pada konfigurasi *Inverse diffusion flame* dibandingkan dengan *Normal diffusion flame*. Dapat menarik hasil, konfigurasi *Inverse diffusion flame* dengan mudah menghasilkan jelaga lebih sedikit dibandingkan dengan nyala api yang lain (MM Kamal, 2007) dan suhu maksimumnya mampu lebih tinggi dari nyala api difusi biasa pada nyala api yang ketinggiannya berbeda (LK Sze, Dkk, 2004).

Jika kecepatan aliran udara cukup tinggi, maka bahan bakar di jet luar akan dimasukkan ke bagian aliran udara, dikarenakan ada perbedaan kecepatan aliran antara dua variable tersebut, sehingga bahan bakar akan bercampur dengan udara dan membentuk campuran yang dapat terbakar. Geometri *burner* pada $d_{udara}/d_{bahan\ bakar}$, dapat mempengaruhi secara signifikan terhadap struktur nyala dari *Inverse Diffusion Flame* yang mengalir secara bersamaan (LL Dong, Dkk, 2012).

Inverse diffusion flame memiliki enam perbedaan jenis nyala berdasarkan pemetaan difusi api metana terbalik, api stabil dengan

kecepatan aliran bahan bakar lebih besar dari pada 1 cm/det , dan api tidak stabil dimana kecepatan aliran bahan bakarnya dibawah 1 cm/det (KT Wu, Dkk, 1984).

Inverse Diffusion Flame lebih baik karena memiliki tingkat muatan jelaga yang rendah dan tingkat konsumsi bahan bakarnya, dibandingkan dengan tingkat konsumsi bahan bakar *Normal diffusion flame* (NDF) (Sidebotham, Dkk, 1992). Banyak fenomena pada *Inverse Diffusion Flame*, salah satu dari fenomena tersebut ialah bentuk nyala api yang memiliki *neck* pada bibir burner. Macam struktur api pada Penelitian ini berdasarkan oleh penelitian sebelumnya tentang distribusi api, temperatur daerah api dan bentuk nyala api (Warnatz, Dkk, 1996). Pencampuran bahan bakar dengan udara dan terbakar pada dasar api menunjukkan bahwa api akan melengkung atau *neck* ke udara jet diatas bibir *burner*, hal tersebut bagian dari karakteristik dan struktur api *Inverse Diffusion Flame* (Sobiesiak, Dkk, 2005). (Ilham Fadillah Akbar dkk. 2019) pada penelitiannya *Kaji eksperimen pengaruh rasio panjang pipa udara - bahan bakar terhadap karakteristik api pada inversediffusionflameberbahan bakar LPG*. Menyatakan bahwa, pada ketinggian api yang rendah, semakin tinggi nilai kapasitas pada aliran bahan bakar dan udara yang dikeluarkan maka yang terjadi semakin tinggi pula *temperature dicentreline*. (Ahmad Fauzi dkk. 2019) pada penelitiannya *Efek Perubahan Chamfer Ujung Jet Burner Dan Laju Aliran Udara Dengan Tekanan Bahan Bakar Terhadap Struktur Api IDF*. Menyatakan bahwa, sudut champer dalam ujung jet udara yang baik yaitu sudut yang mendekati sudut siku, dimana tempertur pada *centerline* akan lebih.

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik api yang dipengaruhi oleh perbedaan sudut chamfer luar lubang jet udara dan kapasitas aliran udara (Q_a) pada kapasitas aliran bahan bakar (Q_f) yang konstan. Pada penelitian ini menggunakan model *burner co-axial*, berbahan bakar LPG (*Liquified Petroleum Gas*).

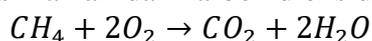
Untuk menelaah fenomena diatas dibutuhkan sebuah referensi yang dapat menunjang dalam penelitian ini. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui api stabil dengan pengaruh dari sudut chamfer jet udara dan kapasitas aliran udara yang menggunakan model *burner co-axial*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang menggunakan jenis pembakaran *Inverse Diffusion Flame* dengan *burner tipe co-axial* buatan sendiri, yang menggunakan bahan bakar LPG (*Liquified Petroleum Gas*) berukuran 10 Kg.

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Definisi proses pembakaran

Pembakaran, menurut bahasa Latin ialah combustion merupakan suatu reaksi kimia eksotermik yang cepat dari oksidasi bahan bakar, yang dapat memunculkan energy besardan dapat digunakan untuk berbagai tujuan (Mahallawy, Dkk, 2002). Pembakaran adalah salah satu teknologi yang telah digunakan pada berbagai bidang, seperti : dalam hal pemanasan, pemrosesan bahan atau material, pembangkit listrik, transportasi darat, laut maupun udara, propulsi untuk pesawat ruang angkasa, dan teknologi lainnya. Pembakaran terjadi juga pada tungku industry, kompor domestic dan boiler, oven, mesin pembakaran (Law ,Dkk, 2006).

Intensitas pembakaran antara bahan bakar dengan oksidator tergantung pada konsentrasinya. Ketika rasio konsentrasi secara kimia sudah benar dalam semua reaktan maka reaktan tersebut dapat berreaksi secara total, maka intensitas pembakarannya telah dekat dengan nilai yang tertinggi,keadaan seperti ini disebut mode pembakaran stoikiometrik (Law ,Dkk, 2006). Sebuah contoh reaksi antara metana dengan oksigen, hasil dari reaksi tersebut menghasilkan air dan karbon dioksida :



2.2. Metode pembakaran

Metode pembakaran dibagi menjadi dua jenis yaitu api yang sudah dicampur, dikenal dengan *premixed flame*, selanjutnya api yang belum tercampur yang artinya proses pembakaran, dimana bahan bakar dan oksidator dipisahkan sebelum masuk dalam ruang reaksi tempat kedua zat tersebut bercampur dan terbakar, api ini disebut *Non-premixed flame* atau *Diffusion flame*.

Premixed flame. Sesuai dengan namanya, api yang sudah dicampur sebelumnya adalah salah satu mode pembakaran yang terjadi pada suatu ruang, dimana bahan bakar dan oksidator telah bercampur sebelum terbakar. Nyala api ini sudah banyak digunakan pada perangkat pembakaran sederhana. Dua aplikasi dari nyala api ini, yaitu pada tungku pemanas rumah dan pada perangkat "*can combustor*" dalam turbin gas pembangkit listrik. Pada pembakaran *premixed*, bahan bakar dengan oksidator dicampur terlebih dahulu secara menyeluruh sebelum masuk ke dalam ruang bakar. Pembakaran terjadi baik dengan cara pengapian dari percikan atau yang lainnya.

Pembakaran dimana bahan bakar dan oksidator dipisahkan sebelum masuk ruang reaksi tempat kedua zat tersebut bercampur dan terbakar. Metode pembakaran dalam kondisi tersebut dinamakan "api *non-premixed*," secara tradisional dapat disebut "api difusi" karena yang membawa bahan bakar dengan oksidator ke dalam ruang reaksi terjadi terutama oleh difusi.

Salah satu contoh yang paling umum dari non-premixed (difusi) api adalah nyala lilin. Banyak pembakaran yang beroperasi menggunakan metode pembakaran *non-premixed*. Karena bahan bakar dengan oksidator belum dicampur terlebih dahulu, risiko tiba-tiba yang terjadi adalah ledakan dapat dieliminasi dengan metode ini. Akibatnya, nyala menjadi lebih besar dan stabilitasnya mampu dijaga dengan baik. Karakteristik yang stabil dari api difusi memiliki banyak aplikasi, terutama digunakan di mesin turbin gas pada pesawat terbang (Sara, Dkk, 2011).

2.3 Bahan bakar

Bahan bakar dan pengoksidasi merupakan dua bahan utama dalam proses pembakaran. Bahan bakar dapat disebut sebagai zat yang dapat membebaskan panas pada waktu bereaksi secara kimia dengan pengoksidasi. Penerapan bahan bakar secara sederhana membutuhkan bahan bakar, dimana bahan bakar tersebut yang mudah didapat dan biayanya murah, akan tetapi dalam penggunaannya harus mematuhi peraturan perlindungan lingkungan. Sebagian besar sistem pembakaran menggunakan bahan bakar yang berasal dari sumber fosil yang belum terbarukan. Jika menggunakan bahan bakar yang berasal dari fosil, dapat berkontribusi terhadap efek pemanasan global dikarenakan jumlah bersih emisi karbon dioksida yang melekat pada penggunaannya. Bahan bakar yang terbuat dari biomassa atau dari energi terbarukan lainnya merupakan salah satu alternatif yang dapat berpotensi mengganti bahan bakar fosil.

Bahan bakar saat ini banyak diaplikasikan pada transportasi dan pembangkit listrik dapat berupa: padat, cair, dan gas. Bahan bakar berwujud padat yang terbentuk secara alami, seperti : kayu dan bentuk biomassa lainnya, gambut, dan batubara. Untuk bahan bakar cair dapat berwujud minyak mentah. Bila dilakukan proses pemurnian secara distilasi fraksional dan proses pemurnian lainnya, hal ini dapat menghasilkan banyak produk, : seperti bensin, bahan bakar diesel, bahan bakar pesawat, bahan bakar minyak dan aspal (Sara, Dkk, 2011).

Bahan bakar gas (BBG) memiliki kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan bahan bakar lain yang wujud padat dan cair. Keuntungan BBG antara lain, mudah terbakar dalam keadaan jumlah udara luar yang sedikit, dan hasil pembakarannya mampu meminimalisir abu dan asap, mudah dalam mengontrol nyala api. Sedangkan untuk kekurangannya adalah sulit dalam

proses penyimpanan apabila volume bahan bakar gas tersebut berkapasitas besar.

Bahan bakar gas (BBG) dapat dibagi menjadi dua macam yaitu bahan bakar gas buatan dan bahan bakar gas alam (*Natural gas*). Bahan bakar gas buatan biasanya didapat dari gasifikasi di area kusus pemrosesan gas. Sedangkan Bahan bakar gas alam (*Natural gas*) dapat dikombinasikan dengan unsur hidrogen untuk membentuk suatu campuran yang disebut HCNG (*Hydrogen Compressed Natural Gas*).

Liquified petroleum gas (LPG) adalah hasil produksi dari kilang gas dan BBM yang memiliki unsur utama propana, butana sekitar 96% dan unsur lainnya ialah gas pentana yang telah dicairkan. Pada dasarnya LPG tidak berwarna dan bau akan tetapi pada LPG jenis komersial yang terdapat di pasaran masyarakat, diberi zat tambahan yaitu etil mekraptan yang bersifat bau yang menyengat, hal ini memiliki fungsi untuk memudahkan penggunaannya dalam mengenali dengan cepat jika ada kebocoran gas.

Sifat-sifat yang dimiliki LPG menurut sifat komponen utamanya yaitu propana dan butana antara lain :

Nilai kalor (*Calor Value*), Jumlah panas yang dibebaskan dari proses pembakaran suatu zat dikenal dengan Nilai kalor atau CV. Hal ini dinyatakan dalam *megajoule* per kg (*MJ / kg*). *Calor Value* untuk LPG adalah $49,6 \text{ MJ / kg}$.

1. Densitas LPG merupakan massa per satuan volume (*kg / ltr*) pada temperatur tertentu. LPG Cair memiliki densitas $0,54 \text{ kg / ltr}$ pada temperatur 15°C atau setengah berat jenis air. Untuk uap LPG memiliki densitas 1,9 lebih besar dari udara.

2. Tekanan uap dalam 1 liter LPG cair akan menguap secara cepat pada kondisi tekanan atmosfer 100 kPa , untuk membentuk uap sekitar 275 liter pada temperatur 15°C . Dalam ruang silinder tertutup yang berisi LPG cair, dengan jumlah yang kecil akan menguap dalam kondisi volume terbatas silinder, untuk dapat menghasilkan tekanan pada silinder mencapai 250 kPa dengan temperatur 0°C . Tekanan pada ruang silinder

tertutup ini kondisinya sama dengan tekanan uap, dan tekanan itu dapat meningkat secara drastis hingga mencapai 500 kPa pada temperatur 20°C dan 1550 kPa pada temperature 60°C. Sebuah kebocoran cairan menimbulkan masalah jauh lebih serius dibandingkan kebocoran gas karena terbentuk dari volume tinggi gas. Inilah alasan dasar jika tabung gas harus selalu disimpan ditempat yang kering, diangkut dan digunakan dalam posisi katup diatas. Jika kebocoran gas terjadi di udara terbuka, hal ini dapat membentuk suatu campuran yang mudah terbakar sekitar 10000 liter dari 1 liter LPG yang cair (Fauzi, 2019).

2.4 Campuran Udara Dan Bahan Bakar

Suatu sistem proses pembakaran sangat dipengaruhi oleh bahan bakar, kalor, udara yang berperan sebagai oksidator, dan reaksi kimia. Perbandingan antara udara dan bahan bakar paling memegang peranan terhadap hasil reaksi kimia dan keluaran produk dari proses pembakaran. Ada beberapa metode yang secara umum sering digunakan dalam menghitung rasio pencampuran antara bahan bakar dan udara diantaranya adalah *fuel air ratio* (FAR), *air fuel ratio* (AFR), rasio ekivalen (Φ).

2.4.1. Rasio Udara Dan Bahan Bakar (Air Fuel Ratio)

Metode ini digunakan untuk mendefinisikan suatu campuran yang merupakan perbandingan antara massa dari suatu udara dengan bahan bakar dalam suatu titik tinjau. Secara simbol AFR dapat dihitung dengan:

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

Apabila nilai aktual lebih besar dari nilai AFR, maka jumlah udara lebih dominan dibandingkan jumlah bahan bakar, sebaliknya apabila nilai aktual lebih kecil dari AFR stoikiometri maka jumlah bahan bakar yang lebih dominan dari pada jumlah udara.

2.4.2. Rasio Bahan Bakar Dan Udara (Fuel Air Ratio)

Kebalikan dari AFR dapat didefinisikan sebagai Rasio bahan bakar dan

udara (FAR) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$FAR = \frac{Mf}{Ma} = \frac{Mf Nf}{Ma Na}$$

2.4.3. 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 perbandingan antara rasio bahan bakar - udara (*Fuel Air Ratio*) stoikiometrik dengan rasio bahan bakar - udara (*Fuel Air Ratio*) aktual.

$$\Phi = \frac{AFR_{stoi}}{AFR_{act}}$$

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).

2.5 Perpindahan panas secara radiasi

Radiasi merupakan proses perpindahan panas dimana panas merambat dari benda yang memiliki temperatur tinggi ke benda yang memiliki temperatur rendah dan benda tersebut memiliki jarak antara benda satu ke benda yang lain, bahkan dalam kondisi ruang hampa. Panas radiasi dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk *batch* yang menjadi kumpulan energy yang terbatas. Didalam ilmu perpindahan panas yang perlu diperhatikan ialah hal-hal yang diakibatkan oleh temperatur dan yang dapat mendistribusikan energi melalui medium tertentu yang tembus cahaya atau melalui suatu ruang (Frank, 1973).

$$q = \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4)$$

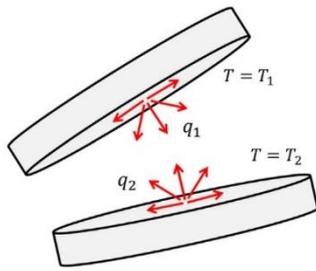
Dimana:

q = laju perpindahan panas (W)

σ = konstanta boltzman ($5,669 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}$)

A = luas penampang (m^2)

T_1, T_2 = temperatur permukaan (K)



Gambar 2.1. Perpindahan panas radiasi antara dua bodi

Gambar dari D Domairry Ganji, dkk, *Chapter 3 – Radiation Heat Transfer, (ScienceDirect : Nonlinear system in heat transfer, pages 105-151)*

Penjelasan lebih lanjut tentang perpindahan panas radiasi dapat digambarkan dengan dua bodi yang mempunyai temperatur (T_1) dan (T_2) berbentuk sembarang. Dua bodi tersebut mengemisikan aliran-aliran dari *radial thermal* pada seluruh arah. Setiap titik (elemen luas) dari setiap bodi mengemisikan radiasi kesegala arah. Hanya sebuah fraksi dari aliran emisi, oleh (T_1) yang diterima dan diserap oleh bodi (T_2) fraksi ini tergantung tidak hanya pada bentuk dan ukuran dari dua bodi tersebut melainkan tergantung pula terhadap posisi *relative*, yaitu kondisi permukaan bodi (seperti kekerasan, kebersihannya) dan juga tergantung dari sekelilingnya). Dengan demikian masalah perpindahan panas mengurangi pada perhitungan :

- Laju perpindahan radiasi panas yang meninggalkan permukaan bodi. (yaitu radiasi diemisikan oleh permukaan, ditambah bagian radiasi yang direfleksikan)
- Laju perpindahan radiasi panas yang mengenai permukaan (yaitu bagian radiasi yang diserap oleh permukaan).

2.6 Fenomena dalam proses pembakaran

2.6.1 Fenomena flickering flame

Fenomena flicker dalam nyala api difusi adalah terkait erat dengan kondisi aliran yang

berlaku dalam aliran gas. Nyala api tampaknya mulai berkedip ketika puncak kerucut turbulen di yang terakhir masuk dalam zona pembakaran aktif, atau dengan kata lain, saat ketinggian hingga turbulensi dalam aliran gas yang dinyalakan menjadi sama atau sedikit kurang dari nyala api tinggi. Harus diingat bahwa tingginya turbulensi dalam aliran yang dinyalakan lebih besar dari dalam aliran yang tidak dinyalakan dengan laju aliran yang sama karena efek suhu (Scholefield, Dkk, 1948).

2.6.2. Fenomena flash back

Flashback merupakan salah satu fenomena api yang terjadi ketika nyala api penetrasi atau merambat masuk ke dalam *burner* atau saluran pencampur bahan bakar dengan udara. Hal ini dapat terjadi ledakan apabila api terus merambat masuk ke dalam tabung penyimpanan bahan bakar (Mandala, Dkk, 2013) .

2.6.3. Fenomena lifted flame

Lifted flame merupakan keadaan dimana nyala api tidak menyentuh ujung bibir saluran pencampur bahan bakar / *burner*. Fenomena nyala api terangkat ini dipengaruhi oleh 2 komponen yaitu, nyala api lokal dan aliran bahan bakar - udara yang terdapat pada daerah ujung bibir saluran pencampur (*burner*). Jika aliran bahan bakar - udara yang keluar pada kecepatan yang rendah, maka yang terjadi pangkal nyala api akan berada sangat dekat bibir *burner*.

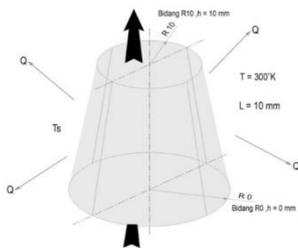
2.6.4. Fenomena blow off

Blow off merupakan fenomena yang kemungkinan muncul pada proses pembakaran (*combustion*) dan terjadi ketika kecepatan pembakaran atau laju nyala lebih rendah dari batas kecepatan aliran, dimana hal ini dapat menyebabkan nyala api menjadi padam atau mati . Fenomena api *blow off* ini perlu kita hindari karena dapat memicu ledakan berbahaya, serta dapat menaikkan konsumsi bahan bakar, bila fenomena ini terjadi secara terus menerus akan berakibat *nozzle burner* menjadi rusak. Untuk menghindari terjadinya fenomena tersebut ada beberapa cara yang dapat dilakukan,

salah satunya ialah dengan mengetahui batas laju aliran bahan bakar yang aman. Hal ini bermaksud untuk mengurangi panas api yang merambat pada nosel sehingga penggunaannya mampu lebih lama.

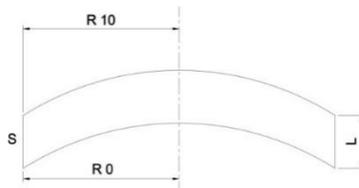
2.7. Luasan selimut api

Emisi dari bahan bakar gas yang terbentuk pada proses pembakaran dapat memunculkan perpindahan panas secara radiasi. Pada tahap analisa data, untuk mempermudah dalam perhitungan data, di asumsikan ada perpindahan panas secara radiasi pada setiap titik ketinggian api yang berupa luasan selimut berbentuk kerucut terpancung.



Gambar 2. 1 Bidang luas penampang selimut api pada titik ketinggian 0-10 mm dengan L = 10 mm

Luas kerucut terpancung pada selimut api seperti digambar atas, apabila dibelah dan direntangkan menjadi sebuah bidang atau bentuk, maka akan menjadi seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2. 2 Luas penampang selimut kerucut terpancung

Selimut Kerucut :

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

Jadi, akan didapatkan luasan selimut tabung pada ketinggian 0 sampai 10 mm, sebagai berikut :

$$A_s = 2\pi r s$$

$$A_s = 2\pi \left(\frac{r_0-r_1}{2}\right) s$$

Maka untuk selanjutnya akan dapat mencari perpindahan panas atau radiasi dari selimut api pada burner co axial contoh di ketinggian 0 –10 mm, seperti berikut ini :

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

Dimana :

Q = Laju perpindahan panas secara radiasi

ϵ = Emisivitas gas panas (black body)

σ = Konstanta bolztman ($5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m².K)

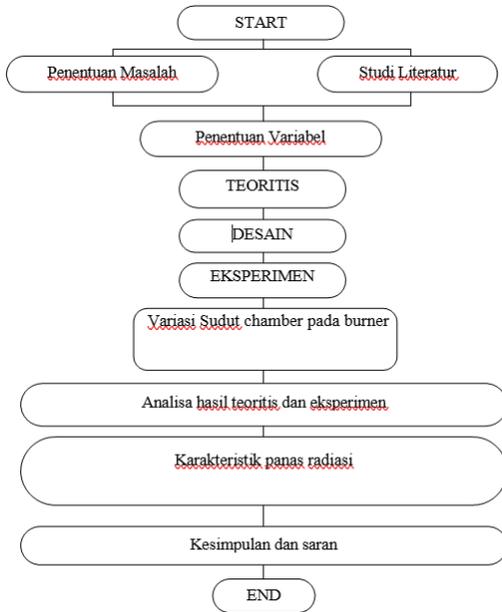
A_s = Luas selimut api (m²)

T_s = Temperatur permukaan selimut api (K)

T_∞ = Temperatur sekeliling ruangan (K)

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Chamfer	P_{fuel}	Q_{fuel}	P_{air}	Q_{air}
	Konstan Bar	Konstan lpm	Konstan bar	lpm
0°	0,75	1,0	5,5	18
				23
				28
40°	0,75	1,0	5,5	18
				23
				28
60°	0,75	1,0	5,5	18
				23
				28

4.2 Bentuk api dan nyala api stabil

Dari hasil pengambilan foto menggunakan kamera DSLR dengan pengaturan sebagai berikut : ISO 3200, kecepatan rana 1/100, diafragma f.5.6 dan dibantu menggunakan *tripod stand* serta pengambilan gambar dilakukan pada latar belakang yang gelap, hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang jelas dan sesuai dengan aslinya, didapatkan hasil bentuk api dan nyala api stabil sebagai berikut :

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa data hasil penelitian

Pada analisa data ini, karakteristik api pada model *burner co-axial Inverse Diffusion Flame* dapat diketahui dengan cara mengukur dan mencatat ketinggian api dan distribusi temperatur api. Sebelum pada tahap analisa data, ada beberapa tahap yang harus dilalui yaitu tahap uji coba, pengaturan tekanan serta aliran udara-bahan bakar, dan tahap pengambilan data. Hasil analisa data ini akan dibandingkan berdasarkan variasi dari variabel yang meliputi perubahan *chamfer* luar jet udara dan perubahan kapasitas aliran udara.

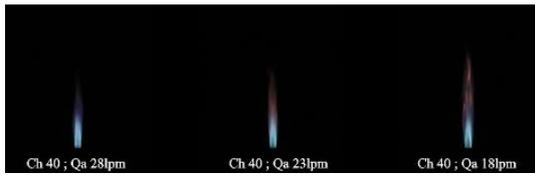
Tabel 4. 1 Variasi penelitian



Gambar 4. 1 Foto api Inverse Diffusion Flame dengan tekanan bahan bakar 0,75 bar, chamfer 0°, tekanan udara 5,5 bar



Gambar 4. 2 Foto api Inverse Diffusion Flame dengan tekanan bahan bakar 0,75 bar, chamfer 40°, tekanan udara 5,5 bar



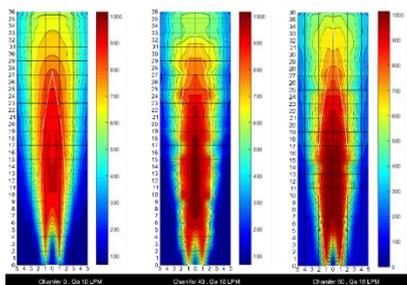
Gambar 4. 3 Foto api Inverse Diffusion Flame dengan tekanan

Dari gambar diatas pada tiap variabel, chamfer luar jet udara, tekanan bahan bakar (Q_{fuel}) kapasitas aliran bahan bakar (P_{fuel}), serta tekanan udara (P_{air}) yang konstan dengan perubahan kapasitas aliran udara (Q_{air}), didapatkan beberapa analisa :

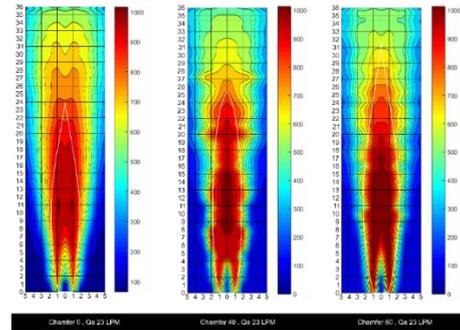
- Jika kapsitas aliran udaranya nilainya diturunkan maka terjadi perubahan ketinggian pada bentuk api, dan api merah semakin tampak.
- Dengan melihat gambar nyala api stabil dari atas, menunjukkan bentuk api terbaik terjadi pada kapasitas aliran udara (Q_{air}) 23lpm.

4.3 Distribusi temperatur dan ketinggian api

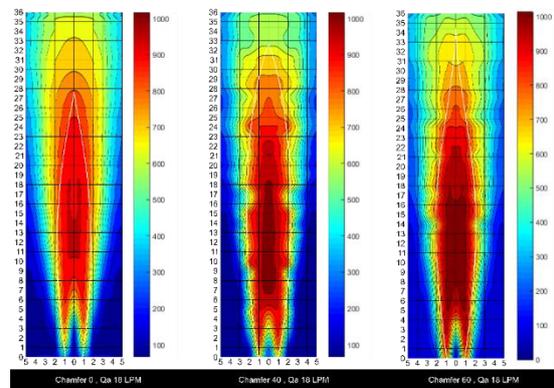
Pada penelitian ini mengasumsi, bahwa api memiliki bentuk badan yang simetris, maka pengukuran dilakukan pada setengah sumbu simetri *burner*. Kemudian dari foto api, mensketsa pada sisi tepi badan api menggunakan *outline* dengan skala sesuai aktualnya, setelah itu latar belakang menggunakan *gridlines* yang memiliki ukuran sesuai dengan jarak termokopel dan ketinggian pada saat pengambilan data. Data hasil pengukuran dapat dilihat secara grafik distribusi dan tinggi api sebagai berikut :



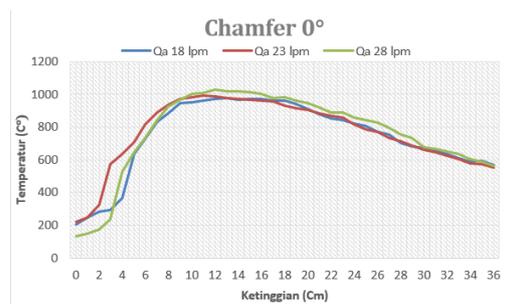
Gambar 4. 4 Distribusi temperatur dan ketinggian api pada Qa 18 lpm



Gambar 4. 5 Distribusi temperatur dan ketinggian api pada Qa 23 lpm



Gambar 4. 6 Distribusi temperatur dan ketinggian api pada Qa 28 lpm

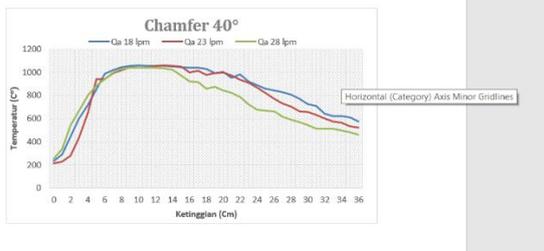


Gambar 4. 7 Grafik temperatur centerline pada chamfer 0°

Chamfer	P_{fuel} konstan bar	Q_{fuel} konstan Lpm	P_{air} konstan bar	Q_{air} lpm	Ketinggian api Cm
0				18	27,5
				23	24
				28	21,5
40°	0,75	1,0	5,5	18	32,5
				23	25,5
				28	22,4
60°				18	34
				23	31,5
				28	24,6

Dari tabel hasil pengukuran diatas, didapatkan analisa sebagai berikut:

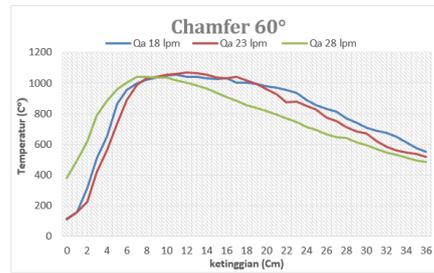
- Dari hasil analisa gambar distribusi temperature pada chamfer 60° dengan kapasitas aliran udara 28 lpm memiliki daerah dengan temperature >1000°C yang lebih luas, dimana api dengan distribusi temperature yang lebih baik karena dapat mencapai suhu >1000°C.
- Pada api dengan chamfer 60° dan kapasitas aliran udara 18 lpm, memiliki ujung api tertinggi, yaitu 34cm.
- Chamfer 0° memiliki daerah temperatur rendah yang lebih tinggi yang berada pada *centerline*.



Gambar 4. 8 Grafik temperatur cernterline pada chamfer 40°

4.4. Grafik temperatur pada centerline

Untuk mempermudah dalam memahami perbandingan api, dari data tersebut diubah kebentuk gambar grafik yang berisi data temperatur api pada *centreline*, dari ketinggian 0 cm hingga ketinggian 36 cm.



Gambar 4. 9 Temperatur centerline pada chamfer 60°

Gambar 4. 9 Temperatur centerline pada chamfer 60°

Dari hasil diatas, dapat ditarik beberapa kesimpulan dari analisa grafik :

- Pada *chamfer* 60° pada kapasitas aliran udara 28 lpm memiliki temperatur awal yang lebih tinggi.
- Pada *chamfer* 40° pada kapasitas aliran udara 28 lpm terjadi fluktuatif mulai ketinggian 14cm

4.5 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.

Sebagai contoh perhitungan q_r pada titik 0-1 :

- Garis pelukis

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

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

$$S = 0,01005 \text{ m}$$

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

- Luas selimut api

$$A_s = 2\pi rs$$

$$A_s = 2\pi \left(\frac{r_0-r_1}{2}\right) s$$

$$A_s = 2\pi \left(\frac{0,009+0,01}{2}\right) s$$

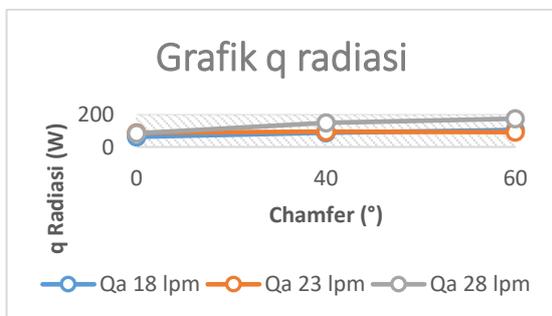
$$A_s = 2 \times 3,14 \times 0,0095 \times 0,01005 = 0,0006 \text{ m}^2$$

Selanjutnya, mencari laju perpindahan panas secara radiasi yang pada selimut api pada burner Co-axial Chamfer 60° dengan $P_{fuel} = 0,75 \text{ bar}$; $Q_{fuel} = 1,0 \text{ lpm}$; $P_{air} = 5,5 \text{ bar}$; $Q_{air} = 18 \text{ lpm}$, sebagai contoh perhitungan pada ketinggian 0-1Cm dengan $L = 1 \text{ cm}$:

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

Dimana :

- $q_{r\ 0-1}$ (W) = Laju perpindahan panas (W)
 - ε = Emisivitas gas panas (Blackbody)
 - σ = Konstanta boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)
 - A_s = Luas selimut api (m^2)
 - T_s = Temperatur permukaan selimut api (K)
 - T_∞ = Temperatur sekeliling ruangan (K)
- Sehingga,
- $$q_{r\ 0-1} = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 0,0006 \text{ m}^2 \cdot (1076 - 311^4) = 45,3 \text{ W}$$



Gambar 4. 10 Laju perpindahan panas radiasi

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 perbandingan antara rasio bahan bakar - udara (Fuel Air Ratio) stoikiometrik dengan rasio bahan bakar - udara (Fuel Air Ratio) aktual.

$$\Phi = \frac{AFR_{stoi}}{AFR_{act}}$$

- 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).

Tabel 4. 2 Rekapitulasi keseluruhan hasil perhitungan AFR & Φ

Chamfer	Q_r konstan (Lpm)	Q_a (Lpm)	AFR actual	AFR stoikiometri	Rasio ekuivalen (shie) Φ
0°	1,0	18	0,135	15,60	108,12
		23	0,1373	15,60	106,32
		28	0,1396	15,60	104,58
40°	1,0	18	0,135	15,60	108,12
		23	0,1373	15,60	106,32
		28	0,1396	15,60	104,58
60°	1,0	18	0,135	15,60	108,12
		23	0,1373	15,60	106,32
		28	0,1396	15,60	104,58

KESIMPULAN DAN MANFAAT

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa diatas bahwa q_r tergantung pada A_s dan T_s , dari penelitian ini q_r terbaik pada chamfer 60° dengan kapasitas aliran udara (Q_a) 28 Lpm menghasilkan energi sebesar 175,5389542 Watt karena pada temperatur selimut api (T_s) 1295 K dan luas selimut api (A_s) 0,001104481 m^2 .

5.2. Manfaat

Manfaat penelitian ini dapat memberikan dampak positif dalam bidang industri dengan

luaran tingkat efisiensi yang baik dalam pemakaian bahan bakar yang optimal dengan kualitas api sesuai yang diharapkan

DAFTAR PUSTAKA

1. 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.
2. 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.
3. Wu, K.T., Essenhigh, R.H. Mapping and structure of inverse diffusion flame of methane : Twentieth symposium International on combustion. 1984, pp : 1925-1932.
4. Sobiesiak, A., & Wenzell, J. C. (2005). Characteristic and structure of inverse flames of natural gas . *Proceedings of the Combustion Institute* 30, 743-749.
5. McAllister, Sara, Chen, J.Y., Fernandez-Pello, A.C. 2011. *Fundamentals of Combustion Processes*. Springer Science and business media. New York.
6. 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.
7. 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.
8. Glassman, I., Yetter, R.A., Glumac, N.G. 2015. *Combustion*. 5th edition. Oxford .
9. El-Mahallawy, F., Habik, S E-Din., 2002. *Fundamentals and Technology of Combustion*. (1st Edition). Elsevier Science. 862.
10. Law, Chung K. 2006. *Combustion Physics*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Mandala, Felicia Angraini., Dhipura, I Made Kartika. 2013. Fenomena Flashback Diruang Bakar Jet Menggunakan Flame Holder [Jurnal]. Universitas Indonesia.
11. 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.
12. Kreith, Frank. 1973 . *Principles of heat transfer*. 3rd edition. New York.
13. Sidebotham GW, and Glassman I. 1992. Flame temprature, fuel structure, and fuel concentration effect on inverse diffusion flame. *Combust Flame*. 90: 269-283.
14. Warnatz, J., Maas, U., & Dibble, R. (1996). *Combustion: physical and chemical fundamentals, modelling and simulation, experiments, pollutant formation*. Springer-Verlag . Berlin Heidelberg. International. United States of America. Page 270 – 282.
- Ridwanullah, A., Pandariantama, H., Miftahudin, Swartzkop, N., Nurhasanah, S., Karlina, Y. (2012), *Semikonduktor: Graphene dan Aplikasinya sebagai Transistor*, Proyek Fisika Zat Padat, UIN Sunan Gunung Djati, Bandung