

Pengaruh Variasi Jarak Plat-Nosel Terhadap Temperatur dan Laju Perpindahan Kalor Dari Api Difusi ke Plat

Slamet Wahyudi, Dhani Abdul Ghaniy & Lilis Yulianti

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik

Universitas Brawijaya

Email : slamet_w72@yahoo.co.id

Abstrak

Proses perpindahan kalor memiliki peran yang penting dalam optimalisasi pemanfaatan api difusi. Ketika suatu plat dipanasi dengan api difusi, temperatur plat bisa dijadikan sebagai indikator yang mudah untuk mengetahui laju perpindahan kalor yang terjadi dari api difusi ke plat tersebut. Dalam penelitian sebelumnya diketahui bahwa jarak plat-nosel sangat mempengaruhi laju perpindahan kalor yang terjadi pada plat yang dikenai udara jet dari nosel. Di sisi lain api difusi memiliki temperatur, kecepatan bahan bakar dan udara yang berbeda pada setiap titik di dalam api. Ketiga variabel ini juga mempengaruhi laju perpindahan kalor dari api difusi ke obyek yang dipanasi. Oleh karena itu, dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat mengetahui jarak plat-nosel yang optimal yang memiliki laju perpindahan kalor dari api difusi ke plat terbesar.

Api difusi hasil pembakaran dari LPG berkecepatan 2.82 m.s^{-1} yang keluar dari swirl nosel dengan udara aksial berkecepatan $1,232 \text{ m.s}^{-1}$, dikenakan pada plat stainless steel dengan jarak tertentu di atas nosel. Jarak plat-nosel tersebut divariasikan sebesar 3 cm, 6,8 cm, 10,6 cm, 14,4 cm, 18,2 cm, 22 cm dan 25,8 cm. Termokopel tipe K dihubungkan dengan ADC dan komputer selanjutnya ditempelkan pada permukaan atas plat sehingga diperoleh data temperatur plat yang selanjutnya dijadikan dasar untuk memprediksi besarnya laju perpindahan kalor dari api difusi ke plat.

Hasilnya adalah temperatur rata-rata plat tertinggi tercapai pada jarak plat-nosel 6,8 cm dan semakin dekat jarak plat-nosel temperatur rata-rata plat meningkat tetapi setelah mencapai jarak 6,8 cm temperaturnya menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak plat-nosel maka laju perpindahan kalor dari api ke plat semakin besar tetapi setelah mencapai jarak plat-nosel 6,8 cm laju perpindahan kalor dari api ke plat menurun.

Kata kunci : Jarak plat – nosel . temperatur, laju perpindahan kalor, api difusi,

1. Pendahuluan

Pemanfaatan pembakaran difusi sendiri sangat luas. Baik dalam rumah tangga seperti kompor maupun dalam industri manufaktur, seperti ketel uap atau untuk proses pemanasan dalam suatu proses produksi. Salah satu peran penting dalam optimalisasi pemanfaatan pembakaran difusi adalah proses *heat transfer* dari api difusi ke obyek yang dipanasi.

Damrong et al (2004) meneliti *heat transfer* antara udara jet dan suatu permukaan yang dikenai udara jet tersebut. Ternyata ditemukan bahwa 95% koefisien perpindahan kalor dipengaruhi oleh jarak nosel ke permukaan tangki dan kecepatan udara, tanpa interaksi keduanya. Berdasarkan penelitian tersebut timbul pertanyaan bagaimana pengaruh jarak plat-nosel terhadap laju perpindahan kalor jika yang dikenakan ke plat adalah api yang memiliki komponen kecepatan udara, kecepatan bahan bakar dan temperatur api. Untuk menjawab pertanyaan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi jarak plat-nosel terhadap laju perpindahan kalor dari api difusi ke plat. Sehingga dapat diketahui jarak optimal plat ke nosel yang memiliki laju perpindahan kalor terbesar dari api difusi menuju plat pada kondisi api difusi tertentu.

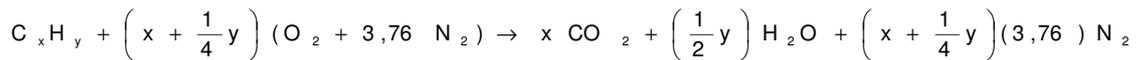
2. Tinjauan Pustaka

Perpindahan kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi (heat) yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara benda atau material. Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain,

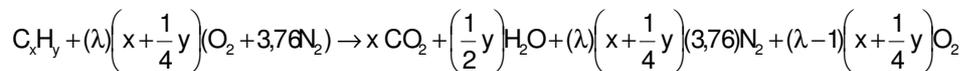
tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor sendiri terbagi menjadi 3, yaitu konduksi konveksi dan radiasi.

Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi oksidasi antara bahan bakar dan oksigen dari udara sebagai oksidator dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) sehingga menghasilkan cahaya dan kalor (Turns, 1996 : 6). Dalam proses pembakaran sempurna, semua C bereaksi menjadi CO₂ dan semua H₂ akan bereaksi menjadi H₂O. Reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar (C_xH_y) dengan udara secara matematis dituliskan sebagai berikut (Wardana, 1995: 21):



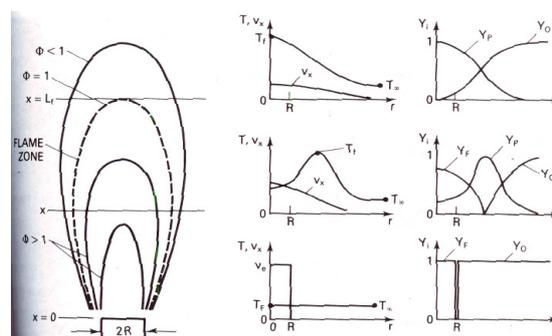
Untuk menghindari terbentuknya gas CO akibat pembakaran yang tidak sempurna maka salah satu cara untuk memperbesar kemungkinan terjadinya pembakaran sempurna adalah dengan menggunakan jumlah udara berlebih (*excess air*). Apabila digunakan udara pembakaran sebanyak λ x jumlah udara teoritis, persamaan reaksinya akan menjadi:



dengan: λ = faktor kelebihan udara ; $\lambda = 1$, apabila dipergunakan udara teoritis; $\lambda > 1$, apabila dipergunakan udara berlebih dan $\lambda < 1$, 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). Perbandingan antara (AFR)_{teoritis} dengan AFR_{aktual} dinyatakan dengan *equivalence-ratio* (Φ). Nyala api (*flame*) adalah daerah tempat terjadinya reaksi pembakaran yang dibatasi oleh permukaan nyala (*flame front*), yaitu permukaan yang membatasi gas yang terbakar dan tidak terbakar. Bentuk *flame* ditentukan oleh *mixing* bahan bakar dan udara dalam ruang bakar. Proses pembakaran dan *flame* akan terjadi pada daerah dimana campuran bahan bakar dan udara mendekati stoikiometrik.

Gambar 1 di bawah ini menunjukkan bahwa dalam api difusi terdapat daerah-daerah yang memiliki temperatur yang berbeda. Pembagian daerah api tersebut didasarkan pada *equivalence ratio* Φ yang mana pada posisi jarak dari nosel yang berbeda equivalence ratio-nya berbeda. Temperatur api tertinggi dicapai pada daerah $\Phi=1$. Jadi pada jarak dari nosel yang berbeda maka temperatur api pada jarak tersebut juga berbeda. Sedang temperatur api mempengaruhi laju perpindahan kalor dari api ke obyek yang dipanasi.

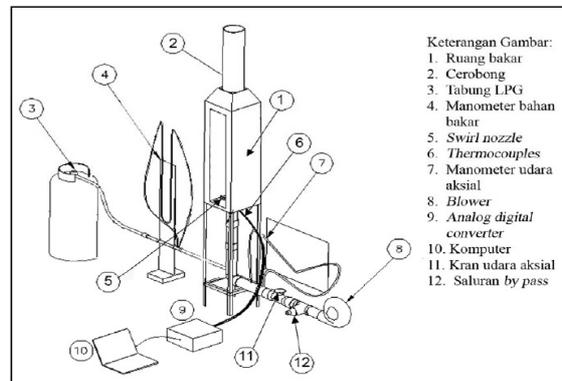


Gambar 1 : Struktur api difusi lamier
Sumber : Turns Stephen R, 1996 : 263

Dari gambar 1 juga terlihat bahwa kecepatan gas hasil pembakaran (api) berbeda pada jarak dari nosel yang berbeda. Yang mana kecepatan fluida mempengaruhi bilangan reynold dan bilangan reynold mempengaruhi koefisien konveksi yang akhirnya koefisien konveksi mempengaruhi besarnya laju perpindahan kalor dari api ke obyek yang dipanasi.

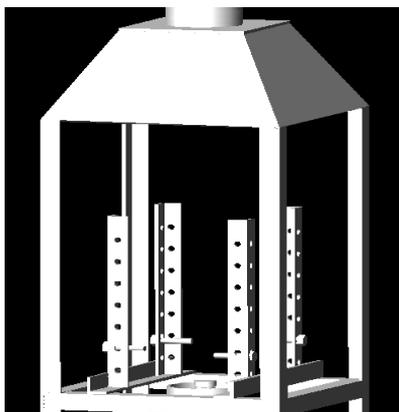
3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental nyata. Variabel bebasnya adalah jarak plat-nosel dengan variasi jarak 3 cm, 6,8 cm, 10,6 cm, 14,4 cm, 18,2 cm, 22 cm dan 25,8 cm. Sedangkan variabel terikatnya adalah temperatur plat dan laju perpindahan kalor dari api difusi ke plat. Gambar 2 adalah gambar instalasi penelitian yang dilaksanakan.

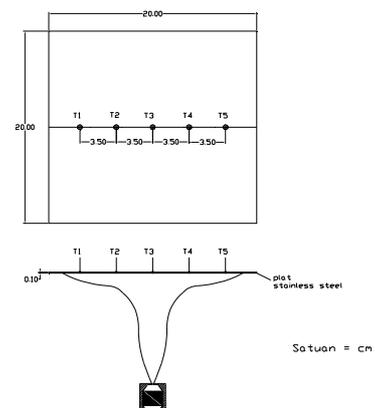


Gambar 2: Skema instalasi penelitian.

Plat stainless steel 430 berdimensi 20 x 20 cm tebal 1 mm diletakkan di atas nosel bersudut swier 60° dan diameter lubang 0,7 mm dengan jarak plat-nosel 25,8 cm di dalam ruang bakar. *Thermocouple* tipe K yang sudah terhubung dengan ADC dan komputer ditempelkan pada permukaan atas plat. Selanjutnya bahan bakar LPG dialirkan dengan kecepatan konstan $2,82 \text{ m.s}^{-1}$ menuju nosel melalui selang berdiameter 1 cm. Begitu juga dengan udara dari blower dialirkan dengan kecepatan konstan $1,232 \text{ m.s}^{-1}$. Kemudian api dinyalakan di atas nosel dan bersamaan dengan itu program penyimpanan data temperatur di-*start*. Data temperatur diambil selama 900 detik dengan 2 pengambilan data tiap detiknya. Setelah 900 detik proses pengambilan data pada jarak plat-nosel tersebut selesai. Dengan langkah-langkah yang sama, selanjutnya dilakukan pengambilan data untuk variasi jarak plat-nosel 22 cm, 18,2 cm, 14,4 cm, 10,6 cm, 6,8 cm dan 3 cm. Setelah itu dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali dengan langkah-langkah yang sama. Data temperatur yang telah diperoleh kemudian diolah dan dibuat grafik hubungan temperatur plat terhadap waktu yang selanjutnya dijadikan sebagai dasar untuk memprediksi besarnya laju perpindahan kalor dari api difusi ke plat.



Gambar 3 : ruang bakar



Gambar 4 : Titik pengukuran temperatur

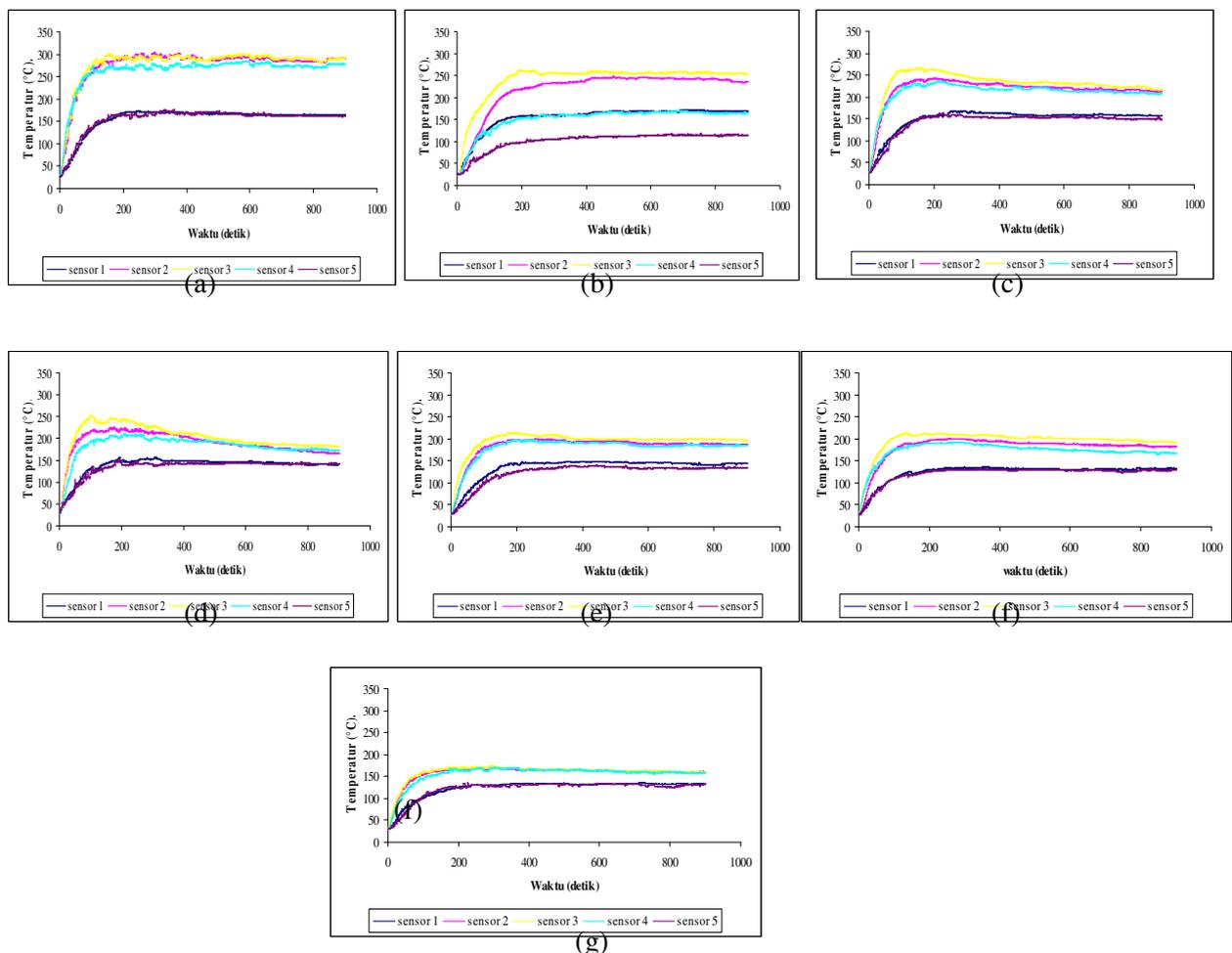
4. Hasil Dan Pembahasan

Gambar 3 merupakan grafik hubungan antara waktu pemanasan plat dengan temperatur plat yang dihasilkan dari proses pemanasan plat tersebut dengan api difusi hasil proses pembakaran bahan

bakar LPG dengan kecepatan $2,82 \text{ ms}^{-1}$ dan udara aksial dengan kecepatan $1,232 \text{ m.s}^{-1}$, pada titik pengukuran pada berbagai jarak plat-nosel yang telah ditentukan.

Pada grafik 3 tersebut dapat dilihat bahwa secara umum grafik temperatur yang dihasilkan dapat dibedakan menjadi 2 daerah, yaitu daerah dimana temperatur plat mengalami kenaikan dan daerah dimana temperatur plat relatif konstan dengan bertambahnya waktu. Di awal pemanasan, temperatur plat meningkat dari temperatur ruang seiring dengan bertambahnya waktu pemanasan, sampai pada waktu tertentu kemudian temperatur plat menjadi relatif konstan. Atau bahkan mengalami penurunan temperatur seperti yang terjadi pada titik 2, 3, dan 4 pada jarak plat-nosel 10,6 cm dan 14,4 cm

Hal ini terjadi karena api menghasilkan kalor dan memancarkannya ke segala arah. Sebagian kalor tersebut berpindah ke plat. Perpindahan kalor ini terjadi akibat dari adanya perbedaan temperatur antara api dan plat yang mana temperatur api lebih tinggi dari pada temperatur plat. Proses perpindahan kalor dari api ke plat ini terjadi secara radiasi dan konveksi. Kalor yang berpindah ini kemudian sebagian disimpan plat dan bersamaan dengan itu sebagian kalor diteruskan atau ditransfer ke udara atau lingkungan di atas permukaan plat secara konveksi.



Gambar 3 Grafik perubahan temperatur plat terhadap waktu.

(a) jarak plat-nosel 3 cm; (b) jarak plat-nosel 6,8 cm ; (c) jarak plat-nosel 10,6 cm ; (d) jarak plat-nosel 14,4 cm; (e) jarak plat-nosel 18,2cm; (f) jarak plat-nosel 22,0 cm; (g) jarak plat-nosel 25,8 cm

Secara umum besarnya kalor yang berpindah dari api ke plat dapat dituliskan sebagai berikut : $Q_{in} = Q_{st} + Q_{out}$; dimana Q_{in} = laju perpindahan kalor dari api ke plat, (watt), Q_{st} = laju perubahan kalor yang disimpan plat, (watt), Q_{out} = laju perpindahan kalor dari plat ke lingkungan, (watt). Sedangkan besarnya laju perubahan kalor yang disimpan plat sebesar

$$Q_{st} = m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt}$$

,dengan m adalah massa plat (kg), c_p adalah kalor jenis plat ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dan dT/dt adalah perubahan temperatur plat tiap satuan waktu ($\text{K} \cdot \text{s}^{-1}$).

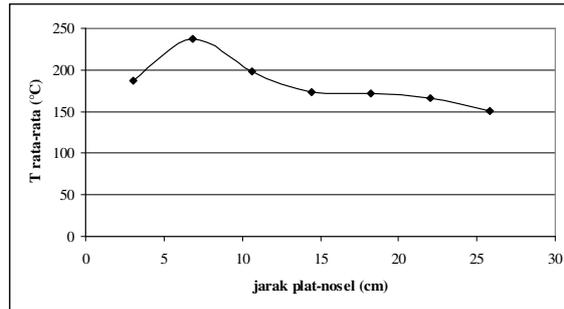
Meningkatnya temperatur plat menunjukkan terjadinya transfer panas dari api ke plat. Semakin tinggi temperatur plat menunjukkan semakin besar kalor yang disimpan plat. Di awal pemanasan, kalor yang berpindah ke plat sebagian besar disimpan plat dari pada diteruskan ke lingkungan di atasnya. Akan tetapi seiring dengan peningkatan temperatur plat tersebut, laju perpindahan kalor dari api ke plat menurun karena beda temperatur antara api dan plat menurun. Bersamaan dengan itu juga laju kalor yang dilepas plat ke lingkungan meningkat karena beda temperatur antara plat dan lingkungan di atas permukaan plat meningkat dengan asumsi temperatur lingkungan konstan. Hal ini sesuai dengan rumus $q = h A (T_w - T_\infty)$, yakni laju perpindahan kalor berbanding lurus dengan beda temperatur antara dinding dan fluida (lingkungan). Sedangkan perubahan penambahan kalor yang disimpan plat semakin menurun. Ini ditunjukkan dengan semakin meningkatnya temperatur plat kemudian semakin landainya garis temperatur yang terbentuk hingga menjadi relatif konstan.

Temperatur plat yang relatif konstan menunjukkan bahwa tidak adanya perubahan penambahan kalor yang disimpan plat. Dengan *supply* kalor yang tetap, besar laju kalor yang dilepas plat ke udara/lingkungan di atasnya sama dengan laju perpindahan kalor dari api ke plat. Sedangkan penurunan temperatur seperti yang terjadi pada titik 2, 3, dan 4 pada jarak plat-nosel 10,6 cm dan 14,4 cm, disebabkan karena timbulnya jelaga di permukaan bawah plat. Jelaga ini menghambat perpindahan kalor dari api ke plat sehingga laju perpindahan kalornya berkurang. Akibatnya temperatur plat menurun.

Pada grafik terlihat bahwa titik 2, 3, dan 4 memiliki kemiringan garis temperatur yang lebih curam dan temperaturnya lebih tinggi dari titik 1 dan 5. Perbedaan kemiringan grafik temperatur yang terbentuk diawal pemanasan menunjukkan besarnya laju perpindahan kalor dari api ke plat. Semakin curam kemiringan yang terbentuk berarti semakin besar laju perpindahan kalornya. Jadi laju perpindahan kalor di titik 2, 3, dan 4 lebih tinggi dari pada titik 1 dan 5. Hal ini disebabkan oleh posisi titik 2, 3, dan 4 yang berada di tengah. Posisi api yang juga berada di tengah plat menyebabkan titik 2, 3, dan 4 berada di daerah kontak api dengan plat di bawah permukaan plat. Tentunya temperatur fluida atau gas di daerah kontak lebih tinggi dari pada di daerah non-kontak dimana plat tidak tersentuh api. Sehingga beda temperatur antara fluida/gas di bawah permukaan plat dan temperatur plat di daerah kontak lebih tinggi dibandingkan dengan daerah non-kontak. Tingginya beda temperatur ini menyebabkan laju perpindahan kalor di daerah kontak lebih besar. Selain itu, api juga memiliki kecepatan yang berasal dari kecepatan LPG dan kecepatan udara, sehingga kecepatan fluida/gas di daerah kontak lebih tinggi dari pada daerah non-kontak. Maka koefisien konveksi di daerah kontak lebih tinggi yang menyebabkan laju perpindahan kalornya juga lebih tinggi.

Temperatur maksimum plat sangat dipengaruhi oleh kondisi api sebagai sumber kalor yang terbentuk. Perbedaan temperatur maksimum ini menunjukkan bahwa temperatur api tepat di bawah permukaan plat berbeda pada jarak plat-nosel yang berbeda. Temperatur maksimum plat yang tinggi menunjukkan temperatur api tepat dibawah permukaan plat juga tinggi. Begitu juga sebaliknya.

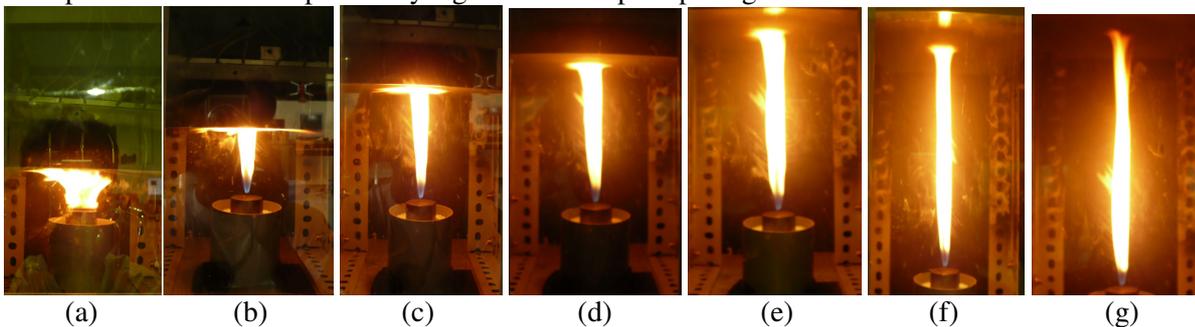
Temperatur maksimum plat pada jarak 25,8 cm paling rendah dari pada jarak yang lain. Hal ini disebabkan kalor yang dihasilkan oleh api di daerah kontak pada jarak tersebut paling rendah sehingga temperatur apinya juga rendah. Hal ini disebabkan karena jumlah bahan bakar yang belum terbakar pada jarak tersebut sedikit karena sebagian besar bahan bakar sudah terbakar pada jarak yang lebih dekat dengan nosel sehingga *equivalence ratio*-nya kurang dari satu dan kalor yang dihasilkan pun kecil. Semakin dekat dengan nosel, *equivalen ratio*-nya semakin besar dan mendekati satu sehingga kalor yang dihasilkan api semakin besar dan temperaturnya meningkat. Kemudian pada jarak tertentu *equivalen ratio*-nya lebih dari satu sehingga kalor yang dihasilkan pun menjadi lebih kecil dan temperatur apinya menjadi lebih rendah. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya temperatur plat dengan jarak plat-nosel yang semakin dekat, kemudian setelah jarak 6,8 cm temperatur plat menurun.



Gambar 4 Grafik hubungan jarak plat-nosel dengan temperatur rata-rata plat.

Pada temperatur plat yang lebih tinggi, laju perpindahan kalor dari api ke plat juga tinggi dibandingkan dengan temperatur plat yang lebih rendah. Pada temperatur plat yang tinggi, dengan asumsi temperatur lingkungan di atas plat konstan pada tiap jarak plat-nosel yang berbeda, maka laju kalor yang dilepas plat ke lingkungan juga tinggi. Hal ini disebabkan beda temperatur plat dengan lingkungan di atasnya lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur plat yang lebih rendah. Dengan menggunakan rumus $Q_{in} = Q_{st} + Q_{out}$, jika kondisi temperatur plat *steady*, maka $Q_{in} = Q_{out}$, yakni laju perpindahan kalor dari api ke plat sama dengan laju kalor yang dilepas plat ke lingkungan di atasnya. Jadi, pada temperatur plat yang lebih tinggi, laju perpindahan kalor dari api ke plat juga tinggi dibandingkan dengan temperatur plat yang lebih rendah.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak plat-nosel, semakin tinggi laju perpindahan kalor yang terjadi dari api ke plat, tetapi kemudian menurun setelah mencapai jarak tertentu. Hal ini ditunjukkan dengan semakin meningkatnya temperatur plat dengan semakin dekatnya jarak plat-nosel, tetapi kemudian menurun setelah jarak 6.8 cm. Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh visualisasi api difusi yang terbentuk seperti pada gambar 5 :



Gambar 5 : Visualisasi api difusi yang terbentuk.

(a) jarak plat-nosel 3 cm ; (b) jarak plat-nosel 6,8 cm; (c) jarak plat-nosel 10,6 cm (d) jarak plat-nosel 14,4 cm ; (e) jarak plat-nosel 18,2cm; (f) jarak plat-nosel 22,0 cm ; (g) jarak plat-nosel 25,8 cm

Dalam gambar 5 terlihat bahwa semakin dekat jarak plat-nosel, luas daerah kontak api dengan permukaan bawah plat semakin besar, namun setelah jarak 6,8 cm mengecil. Hal ini juga menyebabkan semakin dekat jarak plat-nosel maka laju perpindahan kalor dari api difusi ke plat meningkat dan setelah jarak 6,8 cm laju perpindahan kalornya menurun.

Penyebab lainnya adalah semakin jauh jarak plat-nosel, luas permukaan api yang bersinggungan dengan lingkungan di sekitar api semakin besar. Sehingga dengan asumsi radiasi kalor api sama pada tiap jarak plat-nosel, maka radiasi kalor yang dipancarkan api ke lingkungan lebih besar dari pada yang dipancarkan ke plat. Hal ini mengakibatkan semakin dekat jarak plat-nosel maka laju perpindahan kalor dari api ke plat semakin besar. Akan tetapi setelah jarak 6,8 laju perpindahan kalor dari api ke plat menurun karena ada sebagian arah aliran fluida (bahan bakar dan udara) yang berbalik menuju ke bawah sehingga sebagian kalor yang dihasilkan api mengalir ke bawah bersama aliran fluida.

5. Kesimpulan dan Saran

1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Jarak antara plat dan nosel berpengaruh terhadap temperatur plat dan laju perpindahan kalor dari api difusi ke plat
- Semakin dekat jarak antara plat dan nosel maka temperatur plat dan laju perpindahan kalor dari api difusi ke plat semakin meningkat tetapi setelah jarak tertentu menurun kembali.

2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan air mengalir sebagai *heat sink* agar dapat diketahui besarnya laju perpindahan kalor secara kuantitatif.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan bervariasi jenis bahan bakar.

Daftar Pustaka

- Holman, J.P.; 1994: *Perpindahan Kalor*; Erlangga, Jakarta.
- Incropera, J.P., dan D.P. de Witt., 1981, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, New York, John Wiley and Sons.
- Kastoer Raldi Artono., 2002, *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik*, Salemba Teknika, Jakarta.
- Khummongkol, D., et al., 2004, *Heat Transfer between Impinging Air and Impinged Surface: A Factorial Design*, Thailand: Departement of Chemical Engineering Rangsit University.
- Lataillade, De., et al., 2002, *Flame / Wall Interaction and Maximum Wall Heat Fluxes in Diffusion Burners*, France: Institut de Mécannique des Fluides de Toulouse.
- Turns, Stephen R., 1996, *An Introduction to Combustion*, New York : McGraw Hill, Inc