

Pengaruh Bentuk Burner Terhadap Kinerja (Efisiensi Termal dan Reduksi Polutan) Kompor Gas LPG

Widodo W. Purwanto, Atastina S. Basuki, dan Agam Munawar
Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI, Depok 16424. Telp. (021) 7863515
e-mail : widodo@che.ui.ac.id

Abstrak

Dalam penelitian ini dirancang lima buah burner bertipe Bunsen yaitu burner satu lubang, tiga lubang, lima lubang, lubang bintang, lubang tirus serta burner konvensional sebagai pembanding. Selanjutnya kinerja tiap burner diuji dengan memvariasikan laju alir gas LPG dan waktu pembakaran. Penelitian yang dilakukan meliputi pengukuran efisiensi termal, suhu nyala, dan emisi gas C_3 , C_4 , CO_2 , CO dan NO . Hasil eksperimen menunjukkan bahwa ada peningkatan efisiensi termal dari kelima burner bertipe bunsen sekitar 10-23 % dibandingkan terhadap burner konvensional. Untuk kemampuan reduksi polutan, bila dibandingkan dengan burner konvensional, burner 1 lubang menunjukkan kinerja terbaik dalam mereduksi C_3 (28 %), dan CO (32.4 %), burner tirus menunjukkan kinerja terbaik dalam reduksi C_4 (37.8 %), dan untuk kemampuan mereduksi emisi NO burner bintang menunjukan kinerja terbaik (66.67%).

Abstract

In this research, we have designed five Bunsen type burners; they are one hole, three holes, five holes, star shape hole, and swirl flame burner, each of them compared to conventional burner. The burner performances were tested by varying LPG flow rates and duration of combustion. The measured variables were thermal efficiencies, flame temperatures, and emission of unburned hydrocarbon gases, CO_2 , CO , and NO . The results show the improvement of thermal efficiencies from the five-burner type, about 10-23% higher than one of the conventional burner. For pollutant reduction performance, compared to conventional burner, one hole burner have the highest reduction of C_3 (28%) and CO (32.4%), the swirl-flame burner have the highest reduction of C_4 (37.8%), and the star shape hole burner have the highest reduction of NO (66.67%).

Keywords: Gas stove, Bunsen burner

1. Pendahuluan

Selain memiliki sejumlah keunggulan dalam pemakaian, pemanfaatan LPG pada kompor gas masih menyimpan sejumlah permasalahan. Permasalahan yang paling utama adalah rendahnya efisiensi termal, disamping masih banyaknya terbentuk emisi gas polutan seperti unburned hydrocarbon (UHC), CO dan NO_x .^[1]

Kinerja kompor gas dinilai dari segi efisiensi dan emisi pembakarannya. Suatu kompor gas berkinerja tinggi dapat dikatakan sebagai keadaan dimana kompor gas itu memiliki efisiensi termal yang tinggi dengan emisi yang rendah. Efisiensi termal merupakan tingkat keberhasilan kalor mencapai sistem yang akan dipanasi (misalnya air dalam teko), sementara emisi

pembakaran mewakili tingkat kesempurnaan reaksi.

Dalam kenyataannya kenaikan efisiensi termal tidak selalu diikuti dengan penurunan emisi polutan. Hal ini dimungkinkan karena efisiensi termal lebih dipengaruhi oleh orientasi nyala, sementara itu reduksi emisi polutan lebih dipengaruhi kualitas pencampuran bahan bakar-udara.

Orientasi nyala setidaknya dapat didiskripsikan sebagai bentuk nyala dan kecendrungan kemana nyala itu diarahkan. Burner kompor gas konvensional akan menghasilkan bentuk nyala yang kecil dan halus dengan arah yang cenderung melebar kepinggir. Bentuk seperti ini memungkinkan nyala mudah memperoleh oksidator namun cukup merugikan dari segi

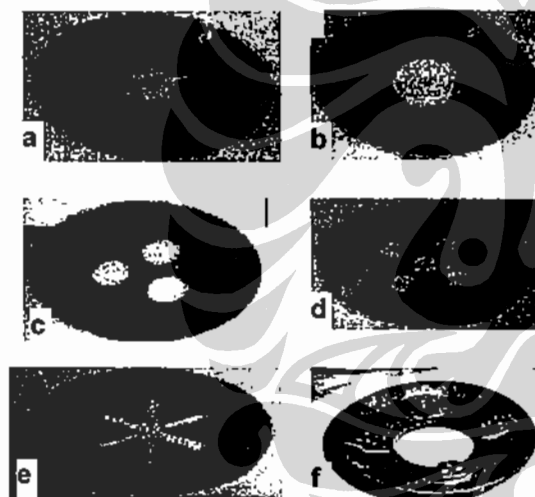
efisiensi termal. Secara rata-rata burner kompor gas konvensional memiliki efisiensi termal pada kisaran 40%-50% [2].

Pada penelitian ini dilakukan perancangan beberapa bentuk burner untuk kemudian dipelajari pengaruhnya terhadap efisiensi termal dan emisi pembakaran, sehingga diharapkan pada akhirnya dapat ditemukan bentuk burner yang berkinerja tinggi.

2. Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian kinerja burner dari segi efisiensi termal dan reduksi polutan. Polutan yang akan diukur adalah C₃, C₄, CO₂, CO, dan NO.

Beberapa bentuk burner modifikasi yang digunakan pada penelitian ini tertera pada Gambar 1.



Gambar 1.

Burner yang digunakan dalam penelitian:

- a. Burner tirus
- b. Burner 1 lubang
- c. Burner 5 lubang
- d. Burner 3 lubang
- e. Burner bintang
- f. Burner konvensional

Eksperimen pembakaran dalam penelitian ini meliputi pengukuran efisiensi termal dan emisi C₃, C₄, CO₂, CO, NO dari kompor gas berbahan bakar LPG dengan menggunakan variasi jenis burner.

Aliran gas LPG berasal dari tabung gas yang dilengkapi dengan regulator dan rotameter untuk menstabilkan aliran dan indikator laju alir. Sebelum memasuki

kompor gas, aliran gas LPG di *by-pass* menuju *bubble soap* untuk verifikasi laju alir gas. Variasi laju alir yang digunakan dalam penelitian ini adalah 700, 750, 750, dan 1000 ml/min.

Untuk pengukuran efisiensi termal kompor, dilakukan pemasakan air sebanyak dua liter dalam teko yang terisolasi. Data eksperimen yang diambil adalah kenaikan temperatur air setiap waktu selama 19 menit dan berat akhir air di teko. Temperatur air dapat dilihat pada indikator suhu, termokopel digital. Efisiensi termal (η_{termal}) dihitung dengan membandingkan kalor yang diterima oleh sistem (air dalam teko terisolasi) terhadap kalor yang diberikan LPG. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut. [3]

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{(m_{\text{air}} \times C_{p \text{ air}} \times \Delta T_{\text{air}}) + (m_{\text{uap}} \times l_{\text{air}})}{v_{\text{fuel}} \times HV_{\text{fuel}} \times t_m} \times 100\% \quad \dots(1)$$

dengan m_{air} : massa air (kg), $C_{p \text{ air}}$: panas jenis air (kkal/kg .°C), v_{fuel} : laju volumetrik LPG (ml/menit), t_m : waktu pemasakan (menit), ΔT_{air} : perubahan suhu air (°C), HV_{fuel} : nilai kalor LPG (kkal/ml), m_{uap} = massa air yang menguap (kg), l_{air} : panas penguapan air (kkal/kg °C).

Untuk pengukuran emisi polutan, dilakukan pembakaran pada kompor gas, dimana gas hasil pembakaran dialirkan terlebih dahulu ke *water trap* dan kemudian aliran keluaran *water trap* diarahkan ke sejumlah alat analisis yang digunakan seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1.

Alat-alat analisis yang digunakan.

Nama Alat	Pengukuran Emisi
GC SHIMADZU Detektor FID Kolom Propak Q	C ₃ dan C ₄
GC SHIMADZU Detektor TCD Kolom Propak Q	CO ₂
FTIR (Ati Matson)	CO
Quintox Gas Analyzer	NO, CO, CO ₂

Selain itu dilakukan juga pengukuran suhu nyala api sebagai fungsi waktu pembakaran dengan menggunakan *pyrometer minolta TR-690/690A* (jarak fokus 1,2m).

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Nyala

Warna nyala didominasi oleh warna hijau, biru, dan dibagian atas (*gasses burned zone*) terlihat warna kuning kemerahan. Apabila laju alir diperbesar warna kuningnya akan semakin jelas dan membesar. Nyala yang dihasilkan burner tirus memiliki banyak kemiripan dengan burner 1 lubang. Hanya saja warna kuning kemerahannya lebih dominan dibandingkan nyala dari burner 1 lubang. Kestabilan nyala burner tirus lebih baik dari burner 1 lubang. Burner lubang majemuk dan burner bintang menghasilkan nyala yang menyatu sehingga tampak seperti satu buah nyala besar yang diameternya lebih besar dari burner 1 lubang. Bentuk nyala ini tidak sesuai harapan semula. Semula diharapkan burner lubang majemuk akan menghasilkan nyala yang terpisah dari tiap lubang satu sama lain sehingga difusi udara ketengah nyala (*reaction zone*) menjadi lebih mudah. Dengan menyatunya nyala dari burner lubang majemuk dapat dipastikan difusi udara ke tengah nyala akan menjadi lebih sulit. Warna nyala dari burner lubang majemuk didominasi oleh warna biru kehijauan dan pada bagian atasnya terdapat sedikit warna kuning. Burner lubang majemuk dan burner bintang sudah menunjukkan fenomena *blow off* pada laju alir bahan bakar 750 ml/menit. Pada laju alir bahan bakar 1000 ml/menit burner 3 lubang dan burner bintang tidak menyala sementara burner 5 lubang masih menyala sekalipun tidak stabil. Burner konvensional menghasilkan nyala majemuk dengan diameter nyala yang lebih besar dan ketinggian nyala jauh lebih kecil dari burner jenis lainnya. Kecilnya ketinggian nyala burner konvensional pada laju alir 700-850 ml/menit menyebabkan temperatur nyala tidak dapat terbaca oleh *pyrometer*. Warna nyala pada burner konvensional

didominasi oleh warna hijau kebiruan. Nyala pada setiap burner akan menjadi lebih tinggi dan lebih besar apabila laju alir bahan bakar dinaikkan. Melihat dominasi warna kebiruan pada nyala yang dihasilkan dari setiap burner dapat diambil kesimpulan bahwa pembakaran yang terjadi mulai laju bahan bakar dari 700 ml/menit dan seterusnya sudah berlangsung dalam kondisi *rich*^[3] (bahan bakar berlebih). Nyala yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki *power density* berkisar antara 1.1-1.6 kW/cm². *Power density* akan meningkat seiring dengan peningkatan laju alir.

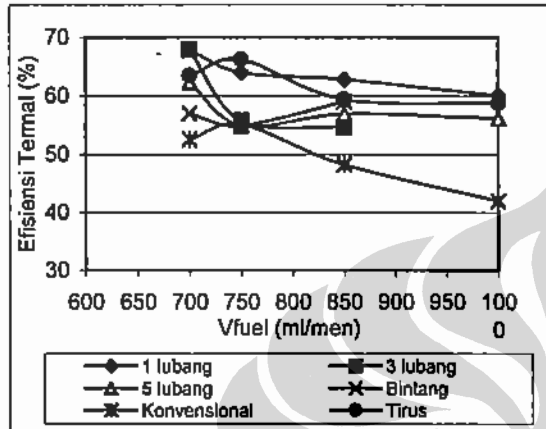
3.2 Efisiensi Termal

Efisiensi termal lebih dipengaruhi oleh bentuk dan orientasi nyala tersebut dibanding stoikiometri dari reaksi pembakarannya. Walaupun demikian stoikiometri reaksi masih berperan dalam meningkatkan efisiensi termal karena pada kondisi stoikiometris inilah diperoleh kalor pembakaran yang maksimum, dan dapat dicegah penyerapan penghantaran kalor ke lingkungan oleh UHC, zat antara, maupun diserapnya kalor oleh peristiwa disosiasi yang endotermis.

Dari Gambar 2 terlihat untuk jenis burner yang sama semakin bertambah laju alir bahan bakar cenderung akan menurunkan efisiensi termal. Tercatat efisiensi termal tertinggi sekitar 67 % pada laju alir 700ml/menit (diperoleh burner 1 lubang dan 3 lubang). Burner konvensional dan burner tirus mencapai efisiensi tertingginya pada laju alir 750ml/menit yakni 55,5 % dan 66,24%. Penurunan efisiensi termal apabila laju alirnya dinaikkan terkait dengan kontak antara nyala dengan teko dan juga kontak antara nyala dengan udara sekeliling. Luas kontak antara nyala dengan teko cenderung bertambah dengan dengan kenaikan laju alir. Semakin besar luas kontak antara nyala dengan teko akan menyebabkan semakin ratanya panas dari api diterima oleh air. Namun luas kontak antara nyala dengan teko ini juga dapat memperbesar pengaruh kehilangan panas ke lingkungan. Oleh karena itu rasio dari perbandingan antara luas kontak nyala terhadap teko dengan luas kontak nyala

terhadap udara menjadi hal yang menentukan tinggi rendahnya efisiensi termal.

Dalam kenyataan luas kontak optimum untuk setiap burner bisa dicapai pada laju alir bahan bakar 700 ml/menit untuk burner lubang majemuk dan 750 ml/menit untuk burner konvensional dan burner tirus.



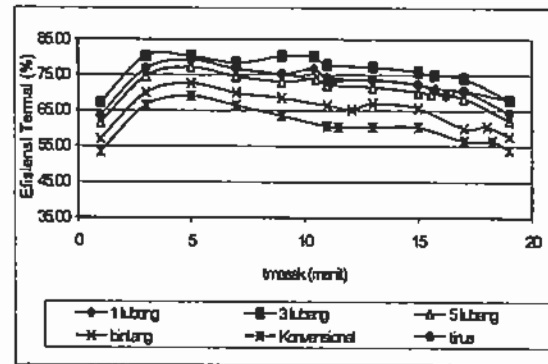
Gambar 2.

Pengaruh laju alir terhadap efisiensi termal (dihitung sampai penguapan terjadi)

Pada burner lubang majemuk, burner dengan jumlah lubang 1 yang akan mempunyai luas kontak maksimum yang menghasilkan efisiensi paling tinggi dibanding jenis yang lain.

Pada Gambar 3 dapat dilihat perubahan efisiensi termal terhadap waktu. Pada awal pembakaran (menit pertama) didapat efisiensi termal yang paling rendah. Kondisi ini dipengaruhi oleh belum cukupnya kalor yang dihasilkan sehingga kadar UHC dari pembakaran cukup banyak. UHC. Setelah beberapa waktu jumlah kalor yang dihasilkan sudah cukup banyak sehingga adanya UHC bisa direduksi dan efisiensi termal menjadi naik. Pada kondisi ini naik turunnya efisiensi termal sangat tergantung pada kondisi udara sekeliling. Adanya udara yang berhembus (angin) akan menurunkan efisiensi termal. Perhitungan efisiensi dihitung dengan memperhatikan adanya massa air yang berubah menjadi uap. Pada menit ke-1 sampai dengan menit ke-17 massa air yang menguap diprediksi dengan metode regresi terhadap massa akhir air yang menguap. Pada menit ke-19

(akhir pembakaran) massa penguapan air ditimbang dan ini merupakan massa akhir penguapan yang dijadikan patokan.

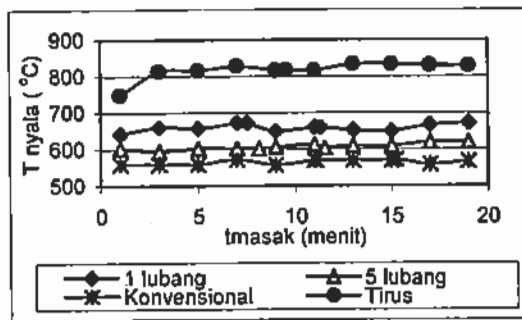


Gambar 3.

Perubahan efisiensi termal terhadap waktu, pada laju LPG 700 ml/menit (sampai penguapan terjadi).

3.2. Temperatur Nyala

Dari Gambar 4 terlihat kecenderungan naiknya temperatur nyala seiring berjalannya waktu. Terlihat burner tirus selalu memiliki temperatur nyala yang lebih tinggi dibanding burner jenis lainnya. Rata-rata temperatur nyala burner tirus diatas 800 °C, sementara burner jenis lain berada pada kisaran 500-650 °C. Tingginya temperatur nyala pada burner tirus bisa menjadi indikasi pembakaran yang berlangsung pada burner ini lebih sempurna dari burner yang lain. Tinggi temperatur nyala juga dipengaruhi oleh ukuran nyala, dimana semakin besar ukuran nyala akan memperbesar temperatur nyala^[4]. Dari pengamatan, nyala yang dihasilkan oleh burner tirus lebih besar dari yang lain pada laju alir yang sama.



Gambar 4.

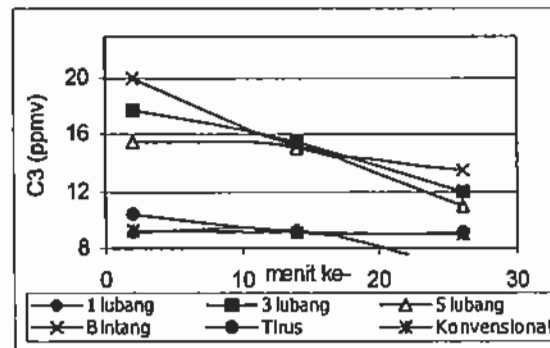
Hubungan antara temperatur nyala dengan waktu pemasakan, pada laju alir 1000 ml/menit (sampai penguapan terjadi).

Sekalipun nyala yang terbentuk dari burner 5 lubang lebih besar dari burner 1 lubang akan tetapi kondisi pembakaran burner 5 lubang menghasilkan lebih banyak UHC yang menyebabkan pendinginan nyalanya. Pendinginan nyala oleh UHC pula yang menyebabkan rendahnya temperatur nyala pada burner 3 lubang dan burner bintang sehingga tidak terbaca oleh *pyrometer*.

3.3. Emisi Polutan

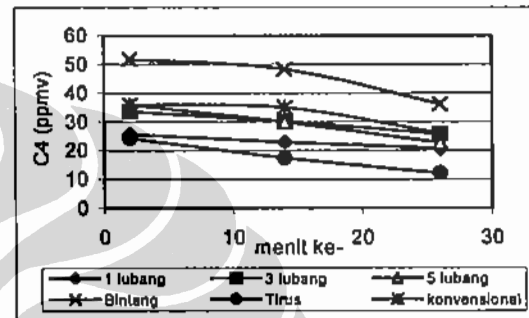
Emisi polutan akan menggambarkan sejauh mana kesempurnaan dari reaksi pembakaran. Reaksi pembakaran yang sempurna hanya akan menghasilkan produk CO_2 dan H_2O disamping panas pembakaran. Dalam kenyataannya sulit sekali ditemui reaksi seperti ini. Umumnya selain dihasilkan CO_2 dan H_2O dihasilkan pula produk samping dengan kuantitas yang jauh lebih kecil seperti CO , UHC, dan NO . Semakin kecil produk samping dari reaksi pembakaran semakin sempurna pula reaksinya dan semakin tinggi pula panas yang dihasilkan.

Emisi C_3 dan C_4 akan turun seiring bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan pada kondisi awal belum cukup panas yang tersedia untuk membakarnya. Fenomena ini dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5.

Perubahan emisi C_3 setiap waktu pada laju

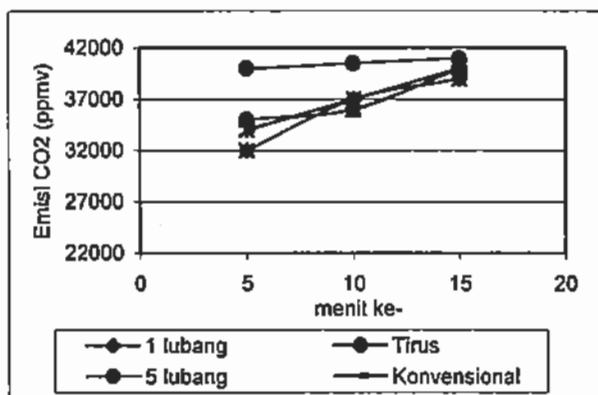


Gambar 6.

Perubahan emisi C_4 setiap waktu pada laju alir bahan bakar 700 ml/menit

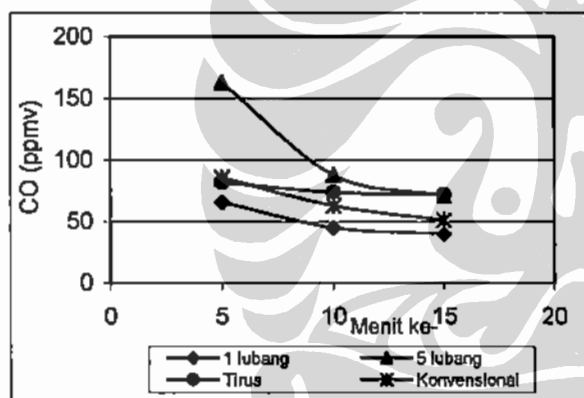
Burner lubang majemuk dan burner bintang cenderung lebih sulit memperoleh oksidator (O_2) daripada burner jenis lainnya. Akibatnya pembakaran burner-burner ini senantiasa berlangsung dalam kondisi sangat *rich*. Dari Gambar 5 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa burner jenis 3 lubang, 5 lubang dan bintang memiliki emisi C_3 dan C_4 yang jauh lebih tinggi dari yang lain. Pada laju alir 850 ml/menit untuk burner 5 lubang, 3 lubang dan bintang sudah menunjukkan fenomena *blow off*, dimana sesekali api kelihatan padam kemudian menyembul kembali. Pada laju alir 1000 ml/menit burner 3 lubang dan burner bintang tidak menyala sama sekali.

Gambar 7 memperlihatkan kecenderungan naiknya emisi CO_2 seiring dengan bertambahnya waktu. Seiring bertambahnya waktu terjadi peningkatan akumulasi kalor yang meningkatkan kesempurnaan reaksi sehingga lebih banyak bahan bakar yang terbakar dan produk CO_2 menjadi naik.



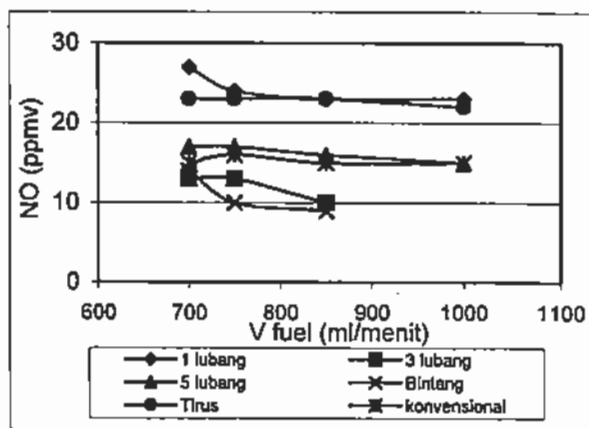
Gambar 7. Perubahan Emisi CO₂ terhadap waktu pada laju alir 850 ml/menit

CO akan lebih dominan terbentuk pada awal pembakaran seperti yang terlihat pada Gambar 8. Dengan bertambahnya waktu konsentrasi CO akan menurun. Penurunan konsentrasi CO juga berkorelasi dengan kenaikan konsentrasi CO₂ terhadap waktu seperti yang terlihat pada Gambar 7.



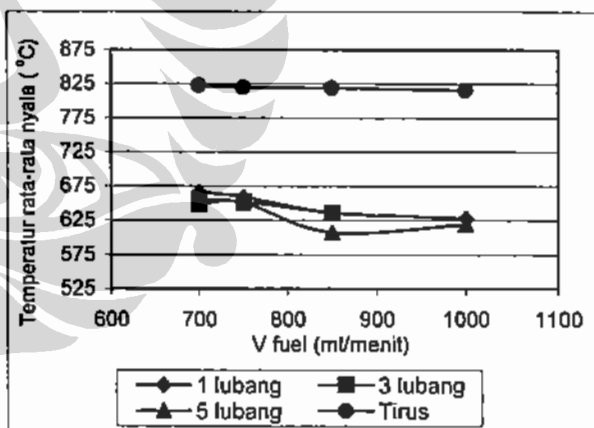
Gambar 8. Perubahan Emisi CO terhadap waktu pada laju alir 850 ml/menit

Secara umum semakin besar laju alir bahan bakar menyebabkan konsentrasi NO akan turun. Laju pembentukan NO sangat dipengaruhi komposisi bahan bakar udara, dan temperatur nyala. Umumnya semakin tinggi temperatur nyala akan mempertinggi NO yang terbentuk sesuai dengan mekanisme pembentukan NO secara termal. Semakin berlebihnya bahan bakar pada akan memperkecil pembentukan NO. Dari Gambar 9 terlihat semakin naik laju alir bahan bakar akan menurunkan pembentukan NO.



Gambar 9. Perubahan Emisi NO terhadap laju alir bahan bakar.(pengambilan data pada menit ke-15)

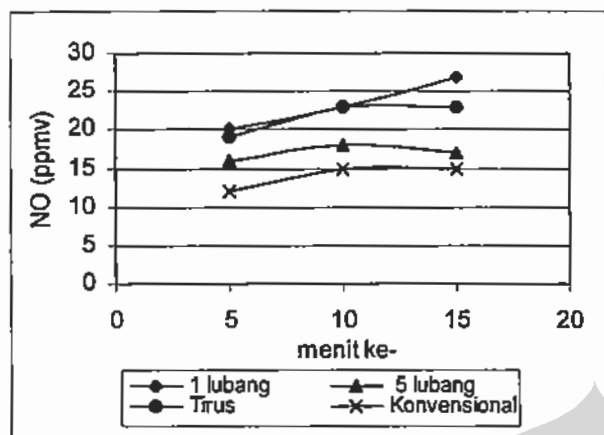
Penurunan emisi NO sejalan dengan turunnya temperatur nyala dan bertambahnya laju alir bahan bakar seperti yang terlihat pada Gambar 10. Temperatur nyala pada burner bintang dan konvensional tidak terdeteksi oleh *pyrometer*. Dapat ditarik kesimpulan temperatur nyala kedua burner ini dibawah 500 °C, dimana batas bawah pembacaan *pyrometer* minolta TR-690/690A adalah 500 °C.



Gambar 10. Perubahan Temperatur nyala rata-rata terhadap laju alir bahan bakar.

Gambar 11 menunjukkan kenaikan NO seiring dengan berjalannya waktu. Kurangnya kalor yang dihasilkan pembakaran pada saat awal menyebabkan kecenderungan lebih rendah kadar NO pada awal pembakaran. Semakin naiknya kalor akan berkorelasi langsung dengan kenaikan

temperatur akan menaikkan konsentrasi NO.



Gambar 11.

Perubahan emisi NO terhadap waktu pada laju alir bahan bakar 700 ml/menit.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Burner 3 lubang, 5 lubang dan burner bintang lebih sulit terjadi difusi udara, sehingga menimbulkan fenomena *blow-off* mulai dari laju alir 850 ml/menit ke atas.
2. Burner 1 lubang memiliki efisiensi termal tertinggi untuk setiap laju alir yang diujikan. Hal ini disebabkan karena pada laju alir yang sama, burner 1 lubang memiliki luasan nyala yang lebih kecil dari burner lainnya sehingga mampu meminimalisir kehilangan panas. Efisiensi tertinggi burner 1 lubang 67.92% (23.15% lebih tinggi dari burner konvensional).
3. Kemampuan reduksi polutan dari tiap burner menunjukkan kecenderungan yang berbeda-beda untuk setiap jenis polutan relatif terhadap burner konvensional. Burner yang memiliki kemampuan tinggi dalam menarik oksigen untuk berdifusi ke daerah reaksi cenderung akan memiliki kemampuan reduksi polutan yang lebih baik terutama CO dan UHC. Sementara emisi NO lebih banyak dipengaruhi oleh suhu nyala.

Daftar Acuan

1. Smith, K., Zhang, J., Uma, R., Kishore, V., Lata K., Josi, V., Rasmussen, R., Khalil, M., *Greenhouse Gases from Small-scale Combustion Devices in Developing Countries, Phase IIA Household Stoves in India*, EPA - USA, Office of Research and Development Air Pollution Prevention and Control Division, 1999.
2. Darmawan, A., *Pengembangan Kompor Gas (LPG) Katalitik Menggunakan Katalis $Cr_2O_3/La_2O_3/Al_2O_3$* , Skripsi S-1, Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Desember 1999.
3. Vanderveer, F.E., Segeler, C. George, *Gas Engineering Hand Book*, Academic Press, 1996, Ch.5. pp. 46-99.
4. De Nevers, N., *Air Pollution Control Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1995, Ch.2. pp.77-195
5. S.R. Turns, *An Introduction to Combustion: Concept and Application*, McGraw-Hill, New York, 1996, Ch.1. pp.224-249.
6. Glassman, I., *Combustion*, Academic Press, New York, 1977, Ch.2. pp.58-63.
7. Wungu, K. G., *Uji Kinerja Kompor Gas (LPG) Katalitik Dengan $Ca-Cr-O/Al_2O_3$ sebagai Katalis*, Skripsi S-1, Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Juni 2000.