

## Pengaruh Jumlah Lubang Nosel Terhadap Kinerja Kompor Minyak Tanah Bertekanan

Tri Agung Rohmat dan Sigit Aribowo  
Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika 2 Yogyakarta 55282  
E-mail : triagung\_rohmat@ugm.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh jumlah nosel (dengan luas penampang nosel total yang hampir sama) terhadap kinerja kompor minyak bertekanan. Untuk meneliti perubahan kinerja dari kompor minyak bertekanan yang dinyatakan sebagai laju pemanasan dan *sfc* dilakukan variasi terhadap tekanan bahan bakar dan jumlah lubang. Tekanan bahan bakar dikondisikan 0,5~2,0 barg. Jumlah lubang burner divariasikan menggunakan nosel 1 lubang berdiameter 0,7 mm, nosel 2 lubang berdiameter 0,5 mm dan nosel 3 lubang berdiameter 0,4 mm dengan luas penampang total yang hampir sama. Laju pemanasan didapat dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air dari temperatur ruang sampai 100° C dengan menggunakan stopwatch. *SFC* didapat dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mengkonsumsi suatu volume minyak tanah. Untuk memperjelas pengamatan dilakukan visualisasi api dengan metode langsung.

Hasil analisis data dan visualisasi api menunjukkan bahwa secara umum penambahan jumlah nosel meningkatkan performa dari kompor minyak tanah bertekanan. Hal ini dapat dibuktikan baik pada tekanan bahan bakar yang sama ataupun pada laju massa bahan bakar yang sama. Fenomena ini diperkirakan dengan kuat karena adanya interaksi yang positif dari tiap aliran bahan bakar.

### 1. Pendahuluan

Aplikasi pembakaran bahan bakar cair dengan metode *spray combustion* sangat banyak digunakan dalam proses pemanasan baik dalam industri skala besar, menengah maupun rumah tangga. Di lain pihak krisis energi yang ditandai dengan meningkatnya harga bahan bakar minyak melanda seluruh dunia. Di Indonesia penggunaan minyak tanah masih akan banyak mendominasi di kalangan masyarakat karena adanya kebijakan subsidi oleh pemerintah. Konversi minyak tanah menjadi LPG masih menyisakan beberapa pertanyaan seperti kesiapan penyediaan LPG dalam jumlah berlipat. Oleh karena itu penelitian mengenai bagaimana mengoptimalkan alat bakar yang ada masih perlu untuk dilakukan.

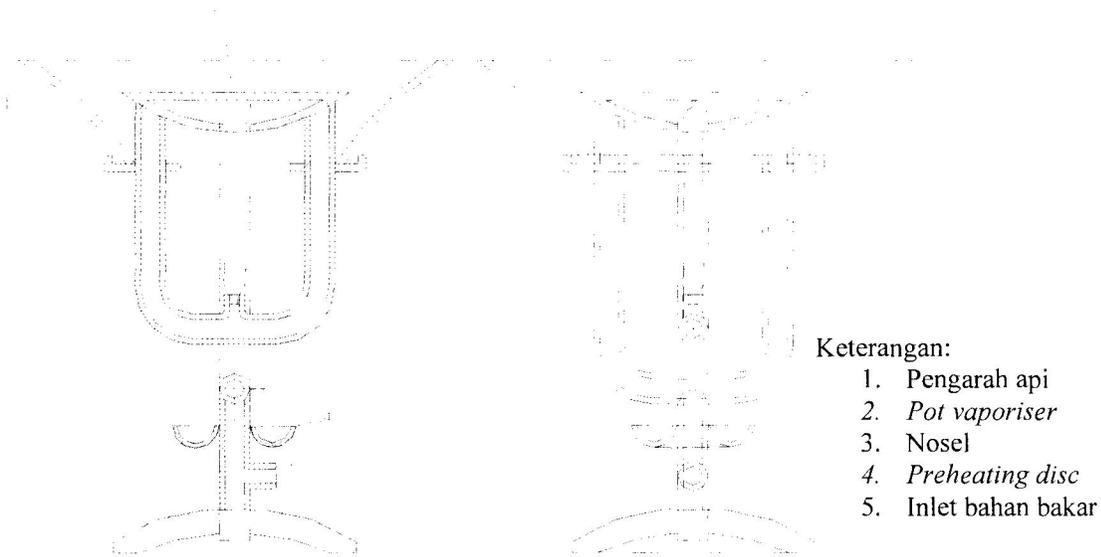
Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang pengaruh jumlah nosel dengan luas penampang total yang hampir sama terhadap kinerja kompor minyak bertekanan yang banyak dipakai di warung makan ataupun industri rumah tangga.

Proses pembakaran dengan bahan bakar cair sangat ditentukan oleh proses pengkabutan (*atomization*). Proses pengkabutan dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti *pressure jet atomization*, *rotary atomization*, dan *twin-fluid atomization*. Metode *pressure jet atomization* merupakan cara yang paling banyak dipakai karena aplikasinya sederhana yaitu dengan mengubah tekanan menjadi energi kinetik untuk mempercepat fluida menjadi berkecepatan tinggi. Penelitian tentang mekanisme dan karakteristik *pressure jet atomization* telah banyak dilakukan misalnya oleh Hoyt and Taylor (1977). Interaksi pengaruh tekanan bahan bakar, kecepatan aliran udara, dan *flame holder* memberikan kontribusi terhadap bentuk api (Beer dan Chigier, 1974). Pengaruh sudut penyemprotan terhadap bentuk semprotan *hollow-cone* atau *solid-cone* secara khusus menjadi perhatian dari Satoh *et al.* (1984). Tanasawa dan Toyoda (1955) menunjukkan bahwa diameter rata-rata (SMD) droplet yang terjadi dari nosel sederhana dipengaruhi oleh diameter nosel, kecepatan aliran, densitas, viskositas, dan tegangan permukaan bahan bakar.

### 2. Metodologi Penelitian

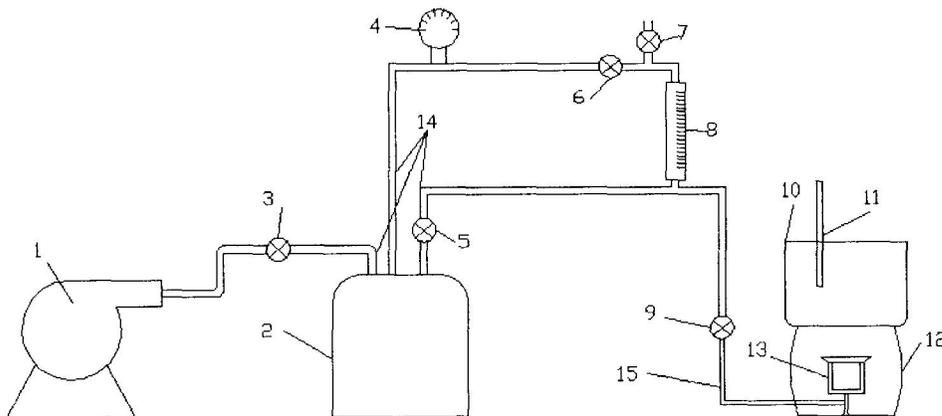
Kompor minyak tanah bertekanan yang digunakan pada penelitian ini mempunyai beberapa komponen, yaitu *pot vaporiser* yang merupakan rongga pertemuan 4 saluran bahan bakar dan berfungsi untuk memanaskan bahan bakar, **pengarah api** yang berbentuk cincin tirus dan merupakan bagian yang berfungsi menjaga arah api agar tidak terlalu melebar serta menjaga kondisi api dari pengaruh aliran angin di sekitarnya, **nosel** yang merupakan ujung saluran bahan bakar yang berfungsi untuk menginjeksikan bahan bakar, dan **preheating disc** yang merupakan wadah minyak atau spiritus

untuk penyalaaan awal kompor. Gambar detail dari kompor minyak bertekanan dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1 Burner kompor minyak bertekanan**

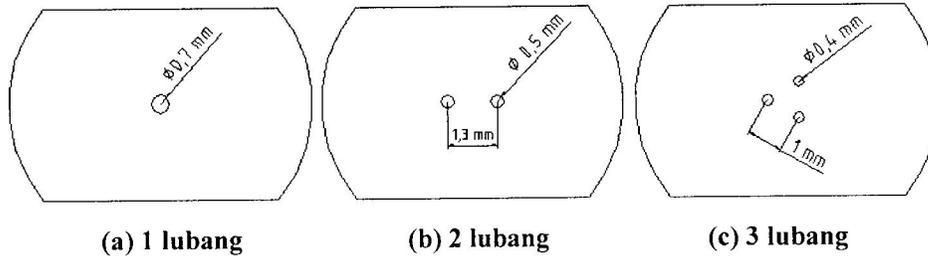
Adapun susunan skematis alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 2. Selain kompor minyak bertekanan, alat penelitian dilengkapi gelas ukur laju aliran bahan bakar, kompresor untuk menyuplai udara bertekanan di dalam tabung bahan bakar hingga diperoleh tekanan yang dibutuhkan, panci air sebagai tempat pemanas air, *anglo* yang terbuat dari tanah liat digunakan sebagai dudukan wadah air sekaligus melindungi nyala api dari hembusan angin, dan katub-katub pengatur, yaitu katub A, berfungsi untuk membuka dan menutup aliran udara dari kompresor ke tabung bahan bakar; katub B berfungsi untuk membuka dan menutup aliran udara dari tabung bahan bakar ke ujung atas pengukur laju aliran bahan bakar. Katub B dibuka pada saat dilakukan pengukuran laju aliran massa bahan baker; katub C, berfungsi untuk mengatur aliran bahan bakar dari tabung menuju alat ukur laju aliran dan menuju burner; katub D, berfungsi untuk menghubungkan alat ukur laju aliran bahan bakar dengan udara luar. Katub ini dibuka sedikit pada saat dilakukan pengisian minyak pada alat ukur laju aliran bahan bakar; katub E, berfungsi sebagai pengatur aliran bahan bakar baik yang mengalir dari tabung, maupun yang mengalir dari alat ukur aliran bahan bakar.



1: Kompresor, 2: Tabung bahan baker, 3: Stop valve A, 4: Pressure gage, 5: Stop valve C, 6: Stop valve B, 7: Stop valve D, 8: Alat ukur laju aliran bahan baker, 9: Stop valve E, 10: Tempat air (panci), 11: Termometer alcohol, 12: Anglo, 13: Burner, 14: Selang 3/8", 15: Pipa 2 mm

**Gambar 2 Skema susunan alat penelitian**

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa jenis nosel, dengan melakukan variasi jumlah lubang nosel dari 1 lubang hingga 3 lubang dengan menjaga luas penampang total sama. Akan tetapi karena keterbatasan peralatan, luas total penampang tidak dapat sepenuhnya sama. Kelima jenis nosel yang digunakan adalah nosel 1 lubang berdiameter 0,7 mm ( $A_{tot}=0,385 \text{ mm}^2$ ), nosel 2 lubang berdiameter 0,5 mm ( $A_{tot}=0,393 \text{ mm}^2$ ), dan nosel 3 lubang berdiameter 0,4 mm ( $A_{tot}=0,377 \text{ mm}^2$ ).



Gambar 3 Konfigurasi lubang pada nosel

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Pengaruh Jumlah Lubang Nosel Dengan Tekanan Tangki Bahan Bakar yang Konstan

Hubungan antara laju pemanasan dan jumlah lubang nosel pada tekanan tangki bahan bakar konstan dapat diamati pada Gambar 4. Data laju pemanasan diambil pada tiap lubang nosel dengan memvariasikan tekanan tangki bahan bakar 0,5~2,0 barg. Dari gambar ini diketahui adanya penurunan laju pemanasan antara nosel 1 lubang dan nosel 2 lubang pada semua tekanan tangki, dan untuk setiap tekanan tangki bahan bakar memperlihatkan kecenderungan yang sama. Persentase rata-rata penurunan laju pemanasan antara nosel 1 lubang dan nosel 2 lubang sebesar 4,1%.

Sekilas, penurunan laju pemanasan tersebut menunjukkan penurunan performa kompor. Tetapi yang terjadi tidak demikian karena penurunan laju pemanasan pada nosel 2 lubang cenderung sebagai akibat dari penurunan laju massa bahan bakar. Bahkan, penurunan laju pemanasan memiliki porsi yang lebih kecil dari penurunan laju massa bahan bakar. Hal ini dapat diperkirakan dari penurunan *sfc*, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Pengamatan secara visual terhadap bentuk dan warna api (Gambar 6) juga mendukung hal ini. Bila dibandingkan, warna api pada nosel 1 lubang terlihat lebih kuning daripada nosel 2 lubang. Selain itu api pada nosel 2 lubang memiliki volume yang tidak terlalu besar dan melebar, sebagai akibat dari laju massa bahan bakar yang relatif rendah.

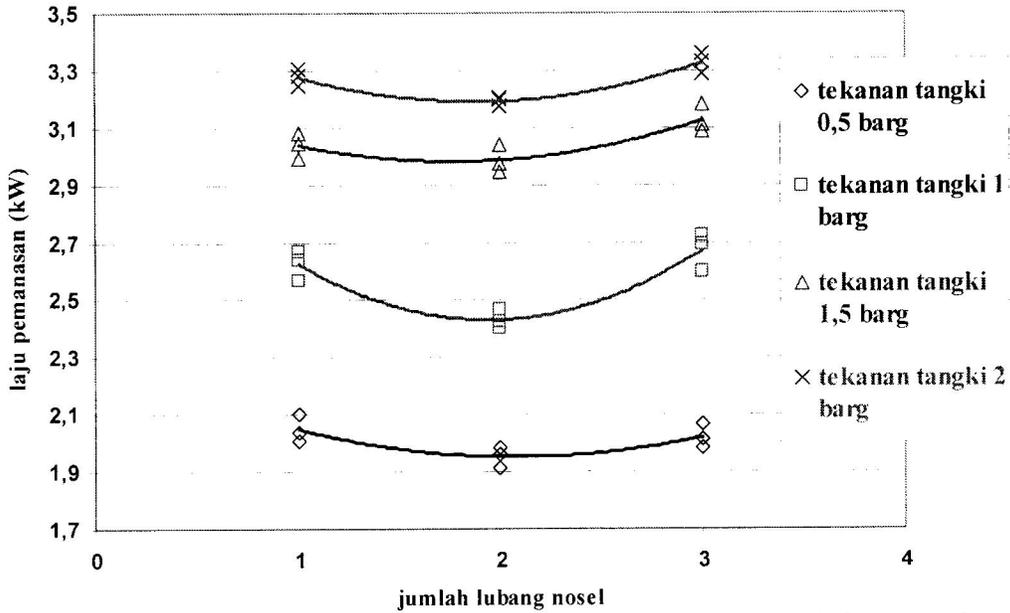
Perubahan nosel 2 lubang ke 3 lubang menunjukkan adanya peningkatan laju pemanasan yang cukup tinggi (Gambar 4). Laju pemanasan pada nosel 3 lubang 4,4% lebih tinggi dari laju pemanasan nosel 2 lubang. Dari gambar yang sama juga terlihat bahwa nosel 3 lubang memiliki nilai laju pemanasan paling tinggi dan melebihi laju pemanasan pada nosel 1 lubang, walaupun laju massa bahan bakarnya paling rendah. Peningkatan laju pemanasan pada nosel 3 lubang dikarenakan kualitas pembakaran dan kualitas perpindahan kalor yang lebih baik yang ditunjukkan dengan penurunan *sfc* pada Gambar 5.

Pada Gambar 5, terlihat jelas hubungan antara *sfc* terhadap jumlah lubang nosel. Seperti yang telah disinggung sebelumnya, pada nosel yang memiliki 2 dan 3 lubang menunjukkan penurunan *sfc* sebagai akibat dari peningkatan kualitas pembakaran dan semakin optimalnya proses perpindahan panas. Persentase penurunan *sfc* rata-rata untuk semua tingkat tekanan tangki antara nosel 1 lubang dan nosel 2 lubang adalah 2,9%, sedangkan antara nosel 2 lubang dan nosel 3 lubang terjadi penurunan *sfc* rata-rata yang lebih besar, yaitu 4,3%. Perubahan total rata-rata *sfc* dari nosel 1 lubang (*sfc* tertinggi) ke nosel 3 lubang (*sfc* terendah) adalah 6,31%.

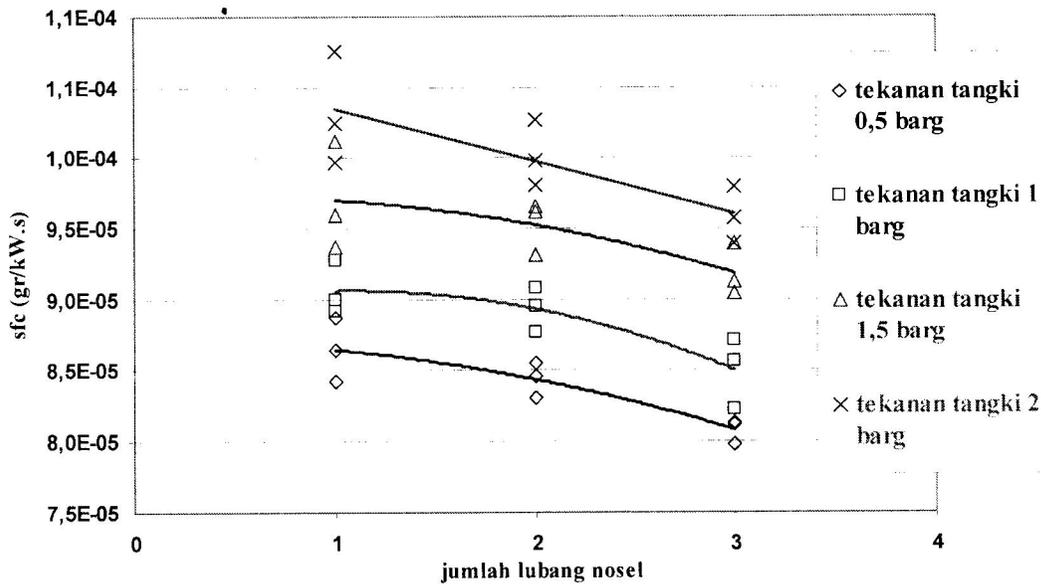
Dari seluruh pengamatan yang dilakukan akhirnya dapat dipahami bahwa dengan memperbanyak jumlah lubang nosel, maka akan diperoleh performa kompor yang semakin meningkat, baik dalam hal laju pemanasan maupun efisiensi seperti yang terlihat dari Gambar 4, 5, dan 6.

Karakteristik aliran yang berasal dari nosel yang memiliki banyak lubang memiliki prinsip yang sama seperti aliran pada jet paralel, dimana dalam aliran seperti ini terdapat beberapa keuntungan dalam proses pembakaran. Keuntungan yang pertama, dalam aliran jet paralel akan menghasilkan daerah resirkulasi internal yang akan meningkatkan derajat turbulensi (Nasr, et al, 1996). Turbulensi yang terjadi pada aliran akan membantu menyempurnakan proses pencampuran bahan bakar dan udara (Chigier, 1981).

Keuntungan lain dari aliran jet paralel dalam pembakaran terlihat dari kondisi api yang semakin berkurang tingkat radiasinya (jelaga yang terbentuk semakin sedikit) yang akhirnya mengurangi rugi-rugi radiasi kalor dari pembakaran (Turns, 2000). Api dengan sedikit jelaga juga menekan tingkat polusi, dan kondisi ini dapat dicapai pada pembakaran yang lebih sempurna.



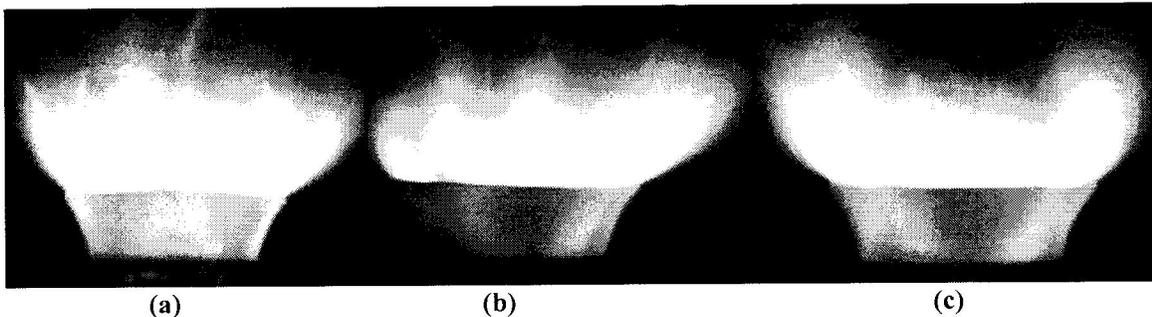
Gambar 4 Hubungan antara laju pemanasan terhadap jumlah lubang nosel pada kondisi tekanan tangki yang konstan



Gambar 5 Hubungan antara SFC terhadap jumlah lubang nosel pada kondisi tekanan tangki yang konstan

Dari teori pembakaran, kesempurnaan proses oksidasi diperoleh dari tingkat pencampuran bahan bakar dan udara yang baik serta terpenuhinya kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi semua atom karbon dan hidrogen. Diduga kuat, dengan memperbanyak jumlah lubang nosel akan meningkatkan dua faktor tersebut.

Dengan memperbanyak jumlah lubang nosel, penampang aliran jet total (setelah *merging point*) menjadi lebih luas dan pancaran yang dihasilkan lebih merata dengan densitas yang semakin kecil (karena volumenya lebih besar). Hal ini memberikan banyak keuntungan, misalnya dengan densitas aliran yang lebih kecil, udara sekitar yang tertarik dalam aliran bakar menjadi semakin banyak sehingga kebutuhan udara untuk pembakaran lebih banyak tersedia. Hal ini dapat menghindari pembakaran yang terlalu kaya, dan memperkecil jelaga yang terbentuk. Kondisi yang demikian menciptakan api lebih bersih dan mengurangi polusi akibat pembakaran yang tidak sempurna. Keuntungan yang lain dari semakin banyaknya udara yang tertarik dalam aliran bahan bakar adalah meningkatkan daerah kerja/rentang laju pemanasan. Dengan kata lain daya pemanasan kompor dapat ditingkatkan, karena aliran udara yang lebih banyak dapat mengimbangi aliran bahan bakar yang lebih besar pula. Dengan demikian kebutuhan udara untuk pembakaran pada laju massa bahan bakar yang lebih tinggi tetap terpenuhi.



Gambar 6 Visualisasi api (a) 1 lubang, (b) 2 lubang, dan (c) 3 lubang pada tekanan 1,5 barg

Walaupun luas penampang aliran jet untuk nosel 3 lubang menjadi lebih besar dari nosel 2 lubang dan 1 lubang, ternyata tidak mengakibatkan penambahan volume api dalam arah radial/ke samping secara signifikan. Hal ini mungkin karena udara yang tertarik dalam aliran jet juga semakin banyak sehingga kecepatan difusi udara ke arah dalam semakin besar, sehingga cenderung mengakibatkan pergeseran zona reaksi ke arah dalam. Oleh karena itu volume api yang terbentuk tidak terlalu gemuk (terlihat pada saat pengarah api tidak terpasang). Besar kecilnya volume aliran yang berpengaruh pada densitas jet dapat diatur dengan mengatur jarak antar lubang, semakin besar jarak antar lubang maka volume aliran semakin besar dan sebaliknya. Tetapi untuk menghasilkan nilai yang optimum masih diperlukan penelitian yang lebih mendalam.

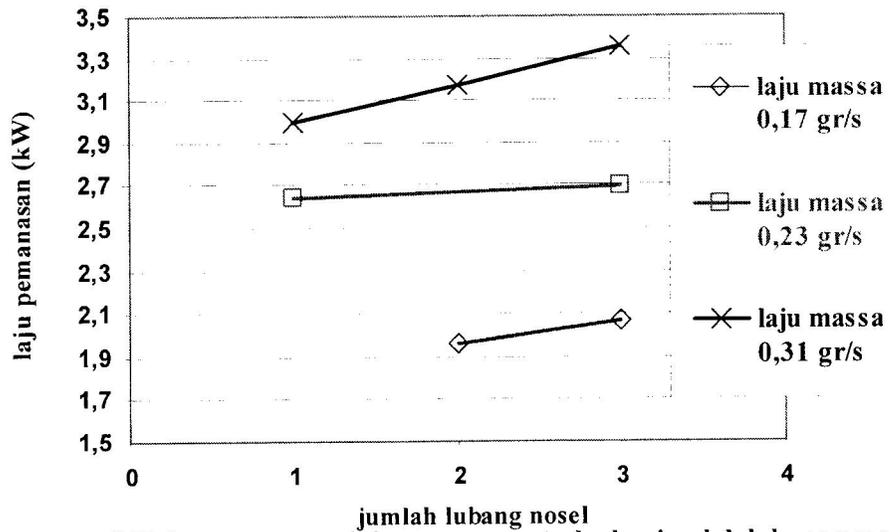
Dari keseluruhan analisa di atas, secara umum dapat dipahami bahwa semakin banyak lubang (dari 1, 2, ke 3 lubang) pada nosel akan membawa efek yang positif terhadap kondisi pembakaran sehingga meningkatkan performa kompor. Untuk mengetahui efek yang terjadi ketika lubang nosel lebih diperbanyak lagi (lebih dari 3 lubang) memerlukan penelitian lebih lanjut.

Hal yang tidak kalah penting untuk diperhatikan dalam mengoperasikan kompor dengan nosel yang memiliki banyak lubang adalah kebersihan bahan bakar. Semakin banyak kotoran dalam bahan bakar, akan lebih mempersulit pengoperasian kompor karena penyumbatan lubang nosel dapat sering terjadi, sehingga mempertinggi frekuensi pemeliharaan lubang nosel.

#### Pengaruh Jumlah Lubang Nosel Dengan Kondisi Laju Massa Bahan Bakar yang Konstan

Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif, data-data yang didapatkan pada tahap sebelumnya diolah kembali untuk mengetahui apakah hal-hal tersebut di atas memang berasal dari pengaruh jumlah nosel atau yang lain. Dari tahap sebelumnya didapatkan 3 tingkat laju massa bahan bakar, yaitu laju massa bahan bakar tingkat rendah rata-rata sebesar 0,17 gr/s (rentang perbedaan laju massa 0,51%), laju massa bahan bakar tingkat menengah rata-rata sebesar 0,23 gr/s (rentang perbedaan laju massa 3,01%) dan laju massa bahan bakar tingkat tinggi sebesar 0,31 gr/s (rentang perbedaan laju massa 4,48%).

Dari data tersebut, dapat disusun grafik hubungan antara laju pemanasan dan jumlah lubang nosel seperti terlihat pada Gambar 7. Dari gambar tersebut terlihat bahwa terdapat peningkatan nilai laju



Gambar 7 Hubungan antara laju pemanasan terhadap jumlah lubang nosel pada kondisi laju massa bahan bakar konstan

pemanasan seiring dengan peningkatan jumlah lubang nosel, dan setiap tingkat laju bahan bakar menunjukkan kecenderungan yang sama walaupun persentasenya berbeda.

Pada laju massa bahan bakar tingkat rendah (0,17 gr/s) menunjukkan peningkatan laju pemanasan pada nosel 3 lubang dari nosel 2 lubang dengan persentase sebesar 5,4%. Sedangkan untuk nosel 1 lubang memiliki nilai laju massa agak jauh di atas kedua nosel lainnya, sehingga tidak dapat dimasukkan pada tingkat ini. Peningkatan laju pemanasan pada nosel 3 lubang telah diperkirakan sebelumnya, sebagai akibat peningkatan kesempurnaan pembakaran pada nosel tersebut.

Secara umum, untuk tiap tingkat laju massa bahan bakar, ketiga jenis nosel tersebut mengalirkan bahan bakar dengan laju yang bisa dianggap sama, sehingga bisa dikatakan bahwa jangka waktu sentuh antara bahan bakar yang mengalir dengan dinding *pot vaporiser* sama. Oleh karena itu, komposisi fasa bahan bakar yang keluar dari nosel juga sama. Letak perbedaan terdapat pada ukuran diameter tiap lubang, dimana nosel 3 lubang memiliki diameter yang lebih kecil daripada nosel 2 lubang, dan diameter nosel 2 lubang lebih kecil dari nosel 1 lubang. Kondisi ini diperkirakan menjadi salah satu faktor penyebab peningkatan kualitas pembakaran karena diameter yang kecil menghasilkan butiran/*droplet* yang lebih halus sehingga proses atomisasi bahan bakar yang masih berfasa cair menjadi lebih sempurna.



Gambar 8 Kondisi api pada (a) nosel 2 lubang dan (b) nosel 3 lubang pada laju massa bahan bakar tingkat rendah

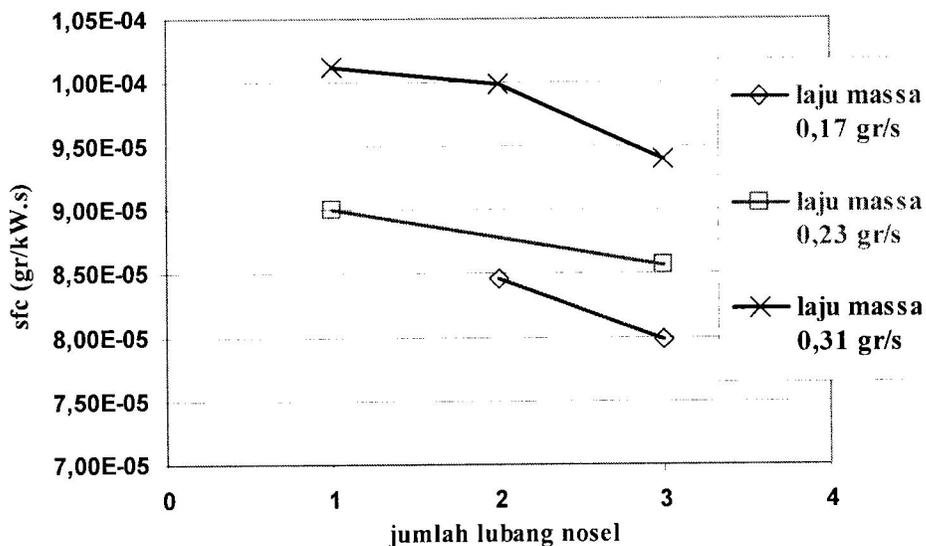
Faktor lain yang menyebabkan kenaikan laju pemanasan pada nosel 3 lubang dari nosel 2 lubang dapat dilihat dari visualisasi api pada kedua nosel tersebut. Pada laju massa bahan bakar tingkat

rendah, dari Gambar 8 terlihat bahwa volume api pada nosel 3 lubang sedikit lebih besar daripada api pada nosel 2 lubang. Bentuk api yang cukup besar memungkinkan perpindahan kalor dari gas produk pembakaran ke wadah air menjadi lebih optimum karena permukaan wadah tersentuh api menjadi lebih banyak (walaupun pada kondisi volume api yang lebih besar lagi dapat mengurangi efisiensi perpindahan kalor).



(a) (b)  
**Gambar 9 Kondisi api pada (a) nosel 1 lubang dan (b) nosel 3 lubang pada laju massa bahan bakar tingkat menengah**

Pada laju massa bahan bakar tingkat menengah (0,23 gr/s) melibatkan nosel 1 lubang dan nosel 3 lubang, dimana nosel 3 lubang tetap memiliki nilai laju pemanasan yang paling besar walaupun persentase selisihnya hanya 2%. Walaupun begitu kondisi pembakaran yang lebih baik pada nosel 3 lubang ditunjukkan oleh Gambar 9, dimana bentuk api pada nosel 3 lubang yang cukup ideal (tidak terlalu besar) untuk memanaskan wadah air. Sedangkan bentuk api pada nosel 1 lubang yang terlalu besar dengan jelaga yang banyak terbentuk sehingga menyebabkan lebih banyak kalor yang terbuang ke lingkungan dan mengurangi efisiensi perpindahan kalor dari gas panas ke wadah air. Fakta ini mendukung kesimpulan semula bahwa kualitas pembakaran pada nosel 3 lubang lebih tinggi dari nosel yang lain. Selain menghasilkan proses atomisasi yang lebih baik, nosel 3 lubang dengan karakter jet paralelnya memberikan proses pembakaran yang lebih baik karena mampu menarik udara lebih banyak untuk mengoksidasi bahan bakar.



**Gambar 10 Hubungan antara sfc terhadap jumlah lubang nosel pada kondisi laju massa bahan bakar konstan**

Untuk laju massa bahan bakar tingkat tinggi (0,31 gr/s) melibatkan 3 jenis nosel sekaligus, dimana pada Gambar 7 menunjukkan peningkatan laju pemanasan seiring dengan peningkatan jumlah lubang nosel. Teramati nosel 2 lubang memiliki laju pemanasan lebih tinggi 6,1% dan nilai *sfc* lebih rendah 1,4% dibandingkan nosel 1 lubang, seperti yang terlihat pada Gambar 10. Sedangkan antara nosel 2 lubang dan nosel 3 lubang juga menunjukkan kecenderungan yang sama, dimana laju pemanasan pada nosel 3 lubang berada diatas nosel 2 lubang dengan persentase selisih 5,7%. Laju massa bahan bakar antara nosel nosel 2 lubang dan nosel 3 lubang pada tingkat ini bisa dianggap sama karena selisihnya sangat kecil, yaitu 0,5%. Nilai *sfc* nosel 3 lubang lebih rendah daripada nosel 2 lubang, dengan selisih sebesar 5,9%. Nilai *sfc* yang semakin rendah pada nosel 3 lubang menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi.

Dari analisis di atas, secara umum dapat dipahami bahwa pada kondisi laju massa bahan bakar yang sama, performa kompor yang paling baik dijumpai pada nosel yang berlubang 3 yang ditandai dengan laju pemanasan yang tinggi serta nilai *sfc* yang rendah. Jadi, semakin banyak jumlah lubang akan meningkatkan performa kompor minyak tanah bertekanan.

#### 4. Kesimpulan

Dari hal-hal tersebut di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pada kondisi tekanan bahan bakar yang sama jumlah nosel yang semakin banyak meningkatkan laju pemanasan dan *sfc*.
- Pada laju massa bahan bakar yang sama jumlah nosel yang semakin banyak meningkatkan laju pemanasan dan *sfc*.
- Peningkatan performa kompor minyak tanah bertekanan seiring dengan peningkatan jumlah lubang nosel diperkirakan dengan kuat karena adanya interaksi yang positif dari tiap aliran bahan bakar.

#### Daftar Pustaka.

- Beer, J.M., and Chigier, N.A., 1974, *Combustion Aerodynamics*, 1974, Applied Science Pub. Ltd., New York
- Chigier, N., 1981, *Energy, Combustion and Environment*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Hoyt, J.W. and Taylor, J.J, *Journal of Fluid Mechanics*, 83-1 (1977), p. 119
- Nasr, A., Lai J.C.S., Behnia, M., 1996, *Flow in The Near Field of Two Parallel Jets and a Comparison with an Offset Jet*, The 9<sup>th</sup> Int'l Symp. on Transport Phenomena in Thermal-Fluids Engineering, Singapore, pp. 746-754.
- Satoh, K., Lin, C., Nagai, N., 1984, *Research on Characteristics of Over-Heated Jet Flow Atomization* (in Japanese), JSME Journal (B), 50-455, pp. 1743-1752
- Tanasawa, Y., dan Toyoda, S., 1955, *On the Atomization of a Liquid Jet Issuing from a Cylindrical Nozzle*, Tech. Report of. Tohoku University N19-2, Japan, p.135
- Turns, S.R., 2000, *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*, Int'l Editions, McGraw-Hill Book Co., Singapore.