

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

---

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## M5-006 Ratio Semburan Udara-Bahan Bakar Terhadap Perubahan Lifted Distance Nyala Difusi Gas Elpiji Dengan Pemanas Awal

**I Made K. Dhiputra , Cahyo S.Wibowo, NK Caturwati<sup>\*)</sup>**

Laboratorium Thermodinamika, "Flame & Combustion Research Group"

Departemen Teknik Mesin -Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16242 Telp. (021) 7270032 & 7864089 - Fax. (021) 7270033

Alamat E-mail : [dhiputra\\_made@yahoo.com](mailto:dhiputra_made@yahoo.com), [cahyo@lemigas.esdm.go.id](mailto:cahyo@lemigas.esdm.go.id), [n4wati@yahoo.co.id](mailto:n4wati@yahoo.co.id)

<sup>\*)</sup>: - Mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Mesin – Universitas Indonesia

- Staf Pengajar Teknik Mesin – Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

### **ABSTRAK**

Sistem pembakaran difusi merupakan sistem pembakaran dengan cara mengalirkan bahan bakar dan udara sebagai oksidator secara terpisah. Sistem ini banyak ditemukan dalam kompor gas rumah tangga hingga ruang bakar besar dalam skala industri. Keamanan operasional dari sistem difusi lebih baik dibandingkan dengan sistem premix, terutama adanya fenomena lifted flame, yaitu pangkal nyala api yang cenderung menjauh dari ujung burner sehingga ujung burner tidak bersentuhan langsung dengan nyala api. Hal ini mencegah ujung burner dari beban temperatur yang tinggi. Penelitian ini diarahkan pada pengaruh perbandingan debit udara terhadap debit gas elpiji, yang dikenal dengan Air-fuel ratio (AFR), terhadap perubahan jarak pangkal nyala api terhadap ujung burner yang disebut lifted distance untuk berbagai kondisi pemanasan awal gas elpiji. Hasil penelitian memperlihatkan kondisi semburan udara dengan AFR rendah meningkatkan difusivitas udara-bahan bakar sehingga pangkal nyala api menjadi lebih dekat dengan ujung burner, lifted distance menjadi lebih rendah. Disamping itu proses pemanasan awal gas elpiji menghasilkan penampakan nyala api yang lebih cerah dibandingkan tanpa pemanasan awal. Pemanasan awal dengan temperatur thermostatic bath mencapai 80 °C memberikan pengaruh penurunan nilai lifted distance rata-rata sebesar 10 %.

*Kata kunci : Lifted-flame,nyala api difusi, AFR , lifted-distance*

---

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## 1. Pendahuluan

Sistem pembakaran dalam dunia industri merupakan sistem yang sangat penting, mengingat proses pembakaran merupakan proses pemanfaatan energi dari bahan bakar untuk dikonversikan kedalam bentuk-bentuk energi lain yang diperlukan .

Pembakaran Non-Premixed atau Difusi banyak ditemukan dalam kegiatan Industri seperti dalam ruang bakar boiler pada Sistem Pembangkit Listrik, ruang bakar Peleburan Baja maupun ruang-bakar pada Pabrik Kimia dan lain sebagainya. Masalah yang banyak dijumpai dalam sistem pembakaran dalam ruang bakar adalah kerusakan nozel/mulut burner akibat temperatur tinggi serta sistem pembakaran yang tidak efisien.

Kerusakan pada mulut burner lebih diakibatkan karena beban temperatur tinggi. Masalah tersebut diatas sangat erat kaitannya dengan nyala pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar. Pangkal nyala api yang terlalu dekat dengan mulut burner dapat merusak mulut burner, sedangkan pangkal nyala yang terlalu jauh dari mulut burner mengakibatkan proses pembakaran tidak tuntas karena bahan bakar dapat turut terbuang ke udara bebas sehingga pembakaran menjadi tidak efisien.

Phenomena pangkal - nyala yang berada pada jarak tertentu dari mulut burner dikenal sebagai phenomena lifted-flame. Kondisi lifted-flame dapat terjadi dalam pembakaran difusi karena udara sebagai oksidator tidak tercampur dengan bahan bakar ketika keluar dari mulut burner. Hal ini mengakibatkan bahan bakar dan udara perlu waktu untuk berdifusi hingga terjadi campuran yang siap untuk proses pembakaran.

Pembahasan mengenai Lifted Flame dalam pembakaran difusi diawali oleh Wohl et.al pada tahun 1949 dalam The Third Symposium of Combustion yang menyatakan bahwa nyala difusi dapat terangkat jika gradien kecepatan rata-rata bahan bakar yang keluar dari mulut burner melebihi nilai kritisnya, dan akan mencapai kondisi stabil jika nilai burning velocity sama dengan kecepatan aliran bahan bakar pada posisi tersebut.

Tahun 1984 Eickhoff et.al menyatakan bahwa dalam pembakaran difusi sejumlah udara menyusup kedalam aliran bahan bakar hingga terjadi kondisi premixed. Kondisi premixed ini yang memungkinkan terjadinya pangkal nyala pembakaran difusi. Selain itu dinyatakan pula bahwa stabilisasi nyala dipengaruhi oleh rambatan nyala premixed turbulen.

Kalghatgi (1984) melakukan eksperimen untuk Hidrogen, Propana, Methana dan ethylene menemukan bahwa tinggi lift-off merupakan fungsi linier dari kecepatan sembur (jet exit velocity)  $u_0$ , tidak tergantung dari diameter tube, dan berbanding terbalik terhadap kuadrat dari kecepatan pembakaran laminar maksimum.

Miake-Lye and Hammer (1988) meneliti Nyala Methane. Ethylene, dan gas alam dengan campuran udara, diperoleh bahwa tinggi Lift-off fungsi linier dari kecepatan sembur.

Schefer et al. (1994) menggunakan planar imaging pengukuran  $\text{CH}_4$ , CH dan temperatur, menemukan daerah nyala merupakan konsentrasi CH tinggi, terbentuk disekitar lapisan terluar semburan. Selanjutnya disimpulkan bahwa propagasi nyala dalam tiga dimensi dan gerakan mayor scale turbulence mengontrol kestabilan nyala.

Pada tahun 1996 Vancquickenborne dan Van Tiggelen menyatakan bahwa udara dan bahan bakar tercampur sempurna pada dasar nyala difusi dan kestabilan tercapai jika kecepatan aliran campuran stoichiometri sama dengan kecepatan pembakaran nyala api.

Eduardo Fernandez-Tarrazo (2005) melakukan analisa numerik guna menentukan kondisi lift-off dan blow-off dalam pembakaran difusi pada lapisan campuran antara bahan bakar dan udara yang disemburkan secara paralel dengan arah horisontal. [1]

Tahun 2006 Mark A.Mikofski et.al melakukan pengukuran nyala difusi laminer dengan Planar Laser-Induced Fluorescence (PLIF) dan menemukan bahwa tinggi nyala luminous lebih tinggi dibanding tinggi zone reaksi akibat adanya pendaran jelaga diatas zona reaksi.[2]

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

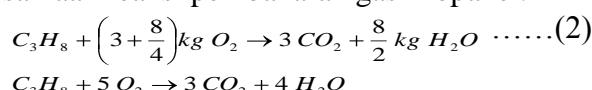
Studi numerik dan analitik tentang respons osilasi dari nyala difusi diteliti oleh Manav Tyagi dkk (2007) .[3]

Perbandingan volume udara terhadap volume bahan bakar dalam suatu proses pembakaran dikenal sebagai nilai *Air-fuel Ratio (AFR)*. Persamaan (1) menyatakan persamaan untuk menentukan nilai AFR.

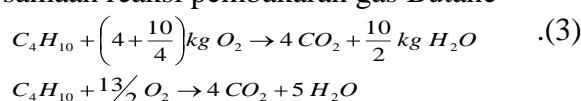
$$AFR = \frac{Q_{\text{udara}}}{Q_{\text{bahan-bakar}}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Nilai AFR-stoichiometric ditentukan dengan menurunkan reaksi pembakaran secara teoritis, misalkan untuk pembakaran gas elpiji yang memiliki komposisi 60 % Propane dan 40 % Butane dapat ditentukan sebagai berikut :

Persamaan reaksi pembakaran gas Propane :



Persamaan reaksi pembakaran gas Butane



Untuk pembakaran 0.6 liter gas propana ( $C_3H_8$ ) diperlukan oksigen sebesar :

$$V_{O_2} = 5 \times 0.6 = 3 \text{ liter}$$

Sedangkan untuk pembakaran 0.4 liter gas butane ( $C_4H_{10}$ ) memerlukan volume oksigen sebesar :

$$V_{O_2} = 13/2 \times 0.4 = 2.6 \text{ liter.}$$

Dengan demikian untuk satu liter gas elpiji diperlukan oksigen sebesar 5.6 liter. Jika kandungan oksigen dalam udara sebesar 21 % volume, maka kebutuhan 1 liter gas elpiji terhadap oksigen dalam reaksi pembakaran adalah :

$$V_{\text{udara}} = 5.6 \text{ liter} \times 100/21 = 26.67 \text{ liter}$$

Sehingga nilai AFR untuk proses pembakaran stoichiometric gas elpiji adalah : 26.67.

Dalam pembakaran difusi pencampuran udara ke dalam bahan bakar terjadi pada lapisan pertemuan bahan bakar-udara atau jika aliran udara-bahan bakar merupakan aliran satu sumbu (*co-flow* ), maka proses pencampuran terjadi pada lapisan terluar dari aliran bahan bakar. Sehingga pada lapisan inilah terdapat potensi terjadinya proses pembakaran.

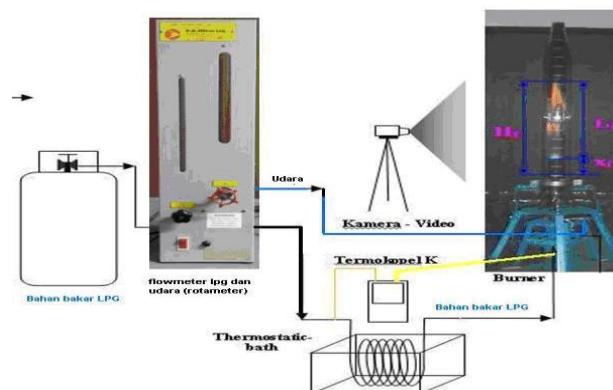
Paper ini menuliskan tentang hasil penelitian mengenai perubahan lifted distance, yaitu jarak antara pangkal nyala api terhadap ujung burner, akibat adanya semburan udara co-flow terhadap semburan gas elpiji.

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium *Thermodinamika* Departemen Teknik Mesin - Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Gambar 1. memperlihatkan sketsa susunan peralatan yang dipergunakan dalam meneliti pengaruh semburan udara terhadap perubahan tinggi *lifted flame* pada nyala api difusi gas elpiji dengan sistem pemanas awal.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



Gambar 1. Susunan peralatan pengujian.

Gas elpiji dialirkan melalui *rottameter* yang telah dikalibrasi terlebih dahulu dengan *wet gas meter* untuk mengatur jumlah aliran gas yang menuju burner. Sebelum dialirkan menuju burner, gas elpiji dialirkan melalui koil pemanas yang terendam dalam *thermostatic bath*. Kemudian disemburkan melalui tip-burner untuk dibakar. Nyala api yang dihasilkan diabadikan dengan kamera, gambar yang dihasilkan selanjutnya diproses untuk mengetahui dimensi dari nyala api seperti : tinggi api, panjang api serta tinggi liftednya. Selanjutnya udara melalui rottameter dialirkan secara bertahap searah dengan semburan gas. Nyala api yang dihasilkan diabadikan dengan kamera untuk kemudian diproses untuk mengetahui perubahan dari dimensi api.

Gas elpiji yang digunakan memiliki komposisi unsur – unsure : Gas Propane ( $C_3H_8$ ) sebesar  $\pm 60\%$  , dan gas Butana ( $C_4H_{10}$ ) sebesar  $\pm 40\%$  .

Percobaan pertama dilakukan untuk kondisi gas elpiji tanpa pemanasan awal percobaan berikutnya gas dipanaskan dalam *thermostatic bath* dengan variasi temperature  $70^{\circ}C$ ,  $80^{\circ}C$ ,  $90^{\circ}C$  dan  $100^{\circ}C$  sebelum disemburkan melalui nosel burner. Variasi laju aliran gas elpiji dibuat bertahap dari skala 5 – 10 cm skala rotameter. Sedangkan variasi semburan udara sekeliling aliran gas sebesar 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 skala rotameter.

Pemanasan awal gas dilakukan dengan melewatkannya gas elpiji dalam gulungan pipa tembaga sepanjang 4 meter dengan garis tengah pipa 2 mm dan garis tengah gulungan pipa sebesar 10 cm. Gulungan pipa tembaga direndam dalam cairan *thermostatic bath*, yang berfungsi sebagai pengatur temperatur cairan agar tetap konstan.

Skema sistem pemanas awal gas elpiji diperlihatkan pada Gambar 2.

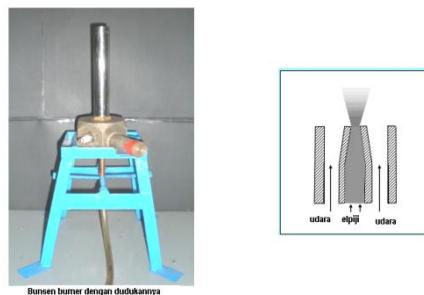


# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

Gambar 2. Sistem pemanas awal gas.

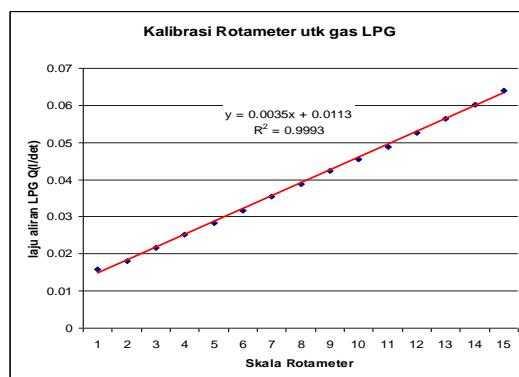
Jenis burner yang digunakan dalam penelitian adalah Bunsen's Burner dengan sistem aliran bahan bakar dan udara yang terpisah. Gambar 3. memperlihatkan bentuk burner serta skema aliran gas elpiji dan udara pada ujung burner (burner tip). Gas elpiji dilewatkan pada laluan bagian dalam burner, sedangkan udara dialirkan pada saluran luar burner.



Gambar 3. (a) Bunsen's burner dengan dudukannya  
(b) Skema aliran gas dan udara pada ujung burner.

## 3. Hasil dan Pembahasan

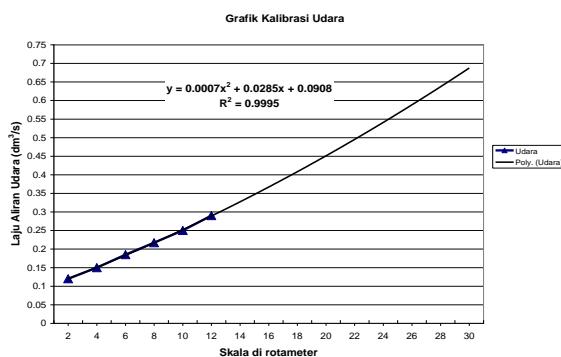
Pengaturan aliran gas elpiji dan aliran udara dilakukan dengan flow meter jenis rottameter, Burner Flame Propagation and Stability Unit P.A Hilton LTD C 551, yang dikalibrasi dengan wet gas meter untuk menentukan besarnya debit aliran terhadap level ketinggian yang ditunjukkan oleh rotameter tersebut. Hasil kalibrasi untuk gas elpiji dan udara masing-masing diperlihatkan dalam Gambar 4. dan Gambar 5.



Gambar 4. Laju aliran gas elpiji (l/s) terhadap skala penunjukan rotameter.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



Gambar 5. Laju aliran udara (l/s) terhadap Skala penunjukan pada rotameter.

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 diperoleh hubungan antara penunjukan rotameter terhadap laju aliran elpiji seperti persamaan (4) dan terhadap laju aliran udara mengikuti persamaan (5), dimana y adalah flow aliran dalam l/s dan x adalah skala penunjukkan pada rotameter.

$$y = 0.0035x + 0.0113 \quad \dots\dots\dots(4)$$

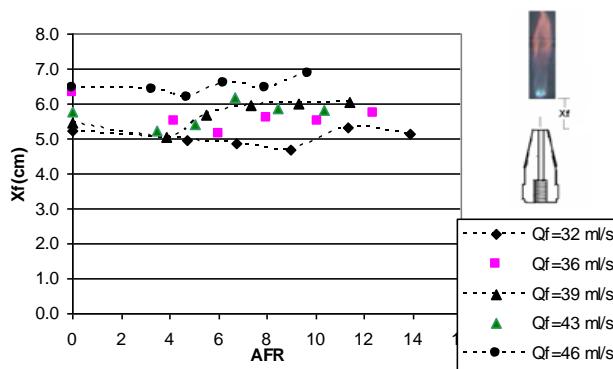
$$y = 0.0007x^2 + 0.0285x + 0.0908 \quad \dots\dots\dots(5)$$

## Semburan udara tanpa pemanasan awal

Gas elpiji dialirkan dari tabung gas melalui rotameter untuk selanjutnya dialirkan dalam saluran burner dengan laju aliran 32, 39 dan 46 ml/s. Dengan laju aliran elpiji tersebut nyala api yang dihasilkan telah mencapai kondisi liftoff. Selanjutnya udara dialirkan secara perlahan, perubahan bentuk nyala api diamati dan diabadikan dengan kamera. Selanjutnya lifted distance untuk setiap kondisi pengujian dapat ditentukan dengan memproses gambar yang dihasilkan dengan menggunakan perangkat lunak. Tabel 1. memperlihatkan hasil pengujian lifted distance pada nyala api difusi gas elpiji tanpa pemanasan awal, sedangkan pada Gambar 6 menampilkan grafik perubahan lifted distance nyala api yang dihasilkan terhadap laju aliran udara yang disemburkan sekeliling aliran bahan bakar berdasarkan nilai AFR nya.

Tabel 1. Lifted-distance (cm) nyala difusi elpiji tanpa pemanas

udara (ml/s)	aliran elpiji (ml/s)				
	32	36	39	43	46
0	5.208	6.338	5.462	5.781	6.441
150.6	4.966	5.500	5.068	5.231	6.417
216	4.867	5.137	5.667	5.407	6.200
287	4.694	5.588	5.968	6.181	6.583
363.6	5.321	5.500	6.000	5.846	6.441
445.8	5.141	5.742	6.040	5.820	6.860



Gambar 6. Perubahan *lifted-distance* terhadap laju aliran udara untuk nyala elpiji tanpa pemanas awal.

Semakin besar laju aliran gas elpiji, lifted distance semakin besar. Penambahan aliran udara pada laju aliran rendah cenderung memperkecil lifted-distance. Hal ini menunjukkan aliran udara rendah meningkatkan difusivitas udara – bahan bakar, sebaliknya aliran udara yang cukup besar mampu mendorong pangkal nyala api menjauhi burner, diperlihatkan dengan semakin besar nilai lifted-distance.

Dibandingkan nilai AFR stoichiometric untuk pembakaran gas elpiji sebesar 26.7 maka nilai AFR yang digunakan dalam penelitian ini masih dibawah nilai AFR untuk pembakaran stoichiometric, dalam percobaan apabila laju aliran udara ditingkatkan cenderung untuk menimbulkan blowoff (pemadaman).

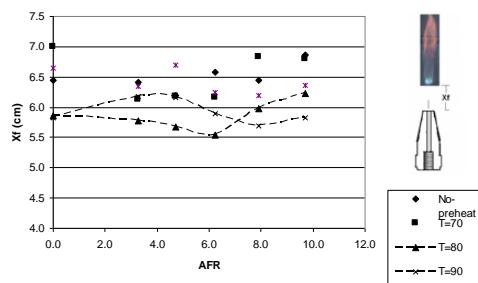
### Semburan Udara dengan Pemanasan Awal

Gas elpiji dialirkan melalui rotameter dengan laju aliran sebesar 46 ml/s. selanjutnya dialirkan dalam koil pemanas yang di dalam cairan *thermostatic bath*. Temperatur *thermostatic bath* dibuat tetap masing-masing pada 70 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C. Untuk setiap kondisi pemanasan ulang elpiji, udara dialirkan secara bertahap hingga mencapai 446 ml/s.

Nyala api yang dihasilkan dari pembakaran tersebut diabadikan kamera untuk selanjutnya diproses dengan bantuan perangkat lunak komputer untuk mendapatkan nilai *lifted-distance* untuk setiap kondisi. Hasil pengamatan diperlihatkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. *Lifted-distance* berbagai temperatur pemanasan.

skala (ml/s)	Udara	Xf (cm)			
		70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
0	0	7.00	5.87	5.82	6.64
2	151	6.12	5.78	6.17	6.35
4	216	6.18	5.67	6.16	6.69
6	287	6.15	5.54	5.89	6.25
8	364	6.83	5.97	5.69	6.20
10	446	6.80	6.22	5.83	6.37

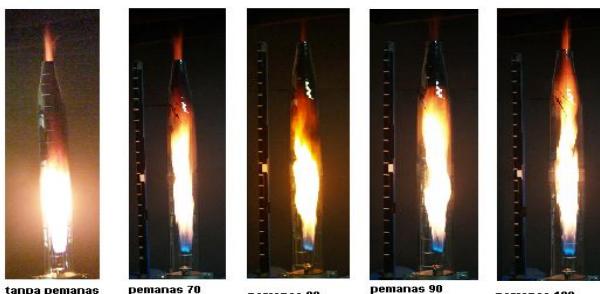


Gambar 7. Perubahan lifted-distance akibat semburan udara pada berbagai kondisi pemanasan awal gas elpiji.

Gambar 7. memperlihatkan pada laju aliran udara rendah (nilai AFR rendah) temperatur pemanasan  $80^{\circ}\text{C}$  memberikan pengaruh peningkatan kecepatan difusi udara-bahan bakar, sehingga lifted distance dari nyala api yang dihasilkan cenderung lebih kecil. Namun pada nilai AFR diatas 6 temperatur pemanasan awal gas elpiji untuk meningkatkan difusivitas udara – bahan bakar meningkat menjadi  $90^{\circ}\text{C}$ .

## Nyala Api Difusi Gas Elpiji

Pengamatan secara visual nyala api difusi yang dihasilkan untuk kasus pembakaran gas elpiji tanpa pemanasan awal dan dengan pemanasan awal memperlihatkan kondisi nyala api dengan pemanasan awal menghasilkan nyala api yang lebih jernih dibandingkan tanpa dilakukan pemanasan awal. Gambar 8. menampilkan kondisi nyala api pembakaran gas elpiji 46 ml/s dengan semburan udara sebesar 446 ml/s . Pangkal nyala api terlihat biru cerah pada nyala api difusi gas elpiji dengan pemanasan awal gas sebelum disemburkan ke dalam ruang bakar melalui burner.



Gambar 8. Nyala api difusi gas elpiji untuk kondisi tanpa pemanas, dengan pemanas 70, 80, 90 dan  $100^{\circ}\text{C}$ .

## 4. Kesimpulan

Laju aliran udara yang dihembuskan disekeliling aliran bahan bakar memiliki nilai AFR yang rendah, agar nyala api difusi berada dalam kondisi stabil. Laju aliran yang tinggi, dapat mendorong pangkal nyala api menjauhi burner hingga cenderung membuat kondisi pemadaman (blowoff).

Pemanasan awal gas elpiji pada kisaran  $80 - 90^{\circ}\text{C}$ , membuat nyala api yang dihasilkan lebih stabil yaitu kondisi liftoff dengan lifted distance yang rendah. Selain itu nyala api difusi gas elpiji dengan pemanasan awal terlihat lebih jernih.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

---

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## **Daftar Pustaka**

- [1] Eduardo Fernandez-Tarrazo, Marcos Vera, Amable linan, *Liftoff and blowoff of diffusion flame between parallel streams of fuel and air*, Combustion and Flame 144 (2006) 261-276
- [2] Mark A.Mikofski, Timothy C.Williams, Christopher R.Shaddix, Linda G.Blevins, *Flame height measurement of laminar inverse diffusion flames*, Combustion and flame 146 (2006) 63-72.
- [3] Manav Tyagi, Nachiket Jamadar, S.R.Chakravarthy, *Oscillatory response of an idealized two-dimensional diffusion flame: Analytical and numerical study*, Combustion and Flame 149 (2007) 271-285.