

## PENGUAPAN TETESAN PREMIUM

Engkos Achmad Kosasih

Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia  
Gedung DTM FTUI, Kampus Baru UI Depok 16424, Indonesia  
Telp.: (021) 7270032, 7864089 ext. 231 & 232 Fax.: (021) 7270033, E-mail: [kos.sri@gmail.com](mailto:kos.sri@gmail.com)

### ABSTRAK

Pada proses pembakaran, laju penguapan tetesan yang disemprotkan mempunyai peran yang sangat penting. Tefik Gemci et. al. melakukan simulasi semprotan cairan menggunakan perangkat lunak KIVA-3V. Banyak simulasi proses pembakaran, baik yang menggunakan perangkat lunak Fluent, perangkat lunak KIVA-3V ataupun perangkat lunak yang lainnya, menggunakan model analogi persamaan Ranz-Marshall dan pendekatan model film stagnan sebagai dasar untuk menghitung laju perpindahan panas dan massa. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kesesuaian kombinasi kedua model tersebut yang diterapkan pada tetesan premium (yang memiliki bilangan Lewis yang jauh lebih besar dari satu, yaitu sekitar 3) dengan data eksperimen. Selain itu juga bertujuan membandingkannya dengan kombinasi model analogi persamaan Ranz-Marshall dan model modifikasi film stagnan (Kosasih E.A. dan Alhamid M.I.). Penelitian ini menggunakan alat berupa termokopel rambut yang pada ujungnya menggantung tetesan yang akan diuji laju penguapannya pada berbagai kecepatan dan temperatur udara yang mengalir disekitar tetesan tersebut. Setelah dianalisa didapat hubungan antara bilangan Reynold ( $Re$ ), Prandtl ( $Pr$ ), Schmidt ( $Sc$ ), Nusselts ( $Nu$ ) dan bilangan Sherwoods ( $Sh$ ). Model modifikasi ternyata mempunyai korelasi yang lebih kuat dibandingkan dengan model film stagnan. Nilai bilangan Sherwood dari model modifikasi juga lebih dekat dengan analogi Ranz-Marshall dibandingkan dengan model film stagnan.

*Keywords:* Tetesan, analogi perpindahan massa dan perpindahan panas, model film stagnan, premium

### 1. Pendahuluan

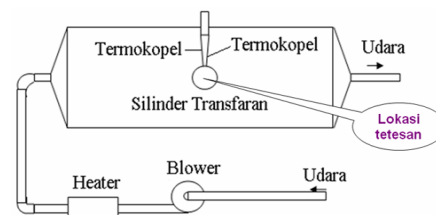
Pada fenomena pembakaran didalam sebuah ruang bakar, peristiwa atomisasi atau masuknya bahan bakar dalam bentuk tetesan (*droplet*) adalah hal yang masih terus diteliti untuk dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna. Proses pembakaran disini adalah terjadinya pembakaran dari hasil penyalaan bahan bakar (*ignition*) yang tercampur dengan udara bertekanan tinggi. Pada fenomena *combustion*, sangatlah penting untuk mengetahui laju penguapan dari bahan bakar yang digunakan karena yang terbakar pada fenomena *combustion* adalah uap dari bahan bakar tersebut.

Banyak peneliti masih menggunakan model persamaan analogi perpindahan massa dan perpindahan panas Ranz W. E. & Marshall W. R., untuk menentukan koefisien perpindahan dari dan ke tetesan. Serta menggunakan model film stagnan untuk menghitung laju perpindahan panas dan laju perpindahan massa (penguapan). Beberapa *software* yang sering digunakan untuk simulasi *combustion* seperti Fluent, KIVA-3V dan yang lainnya juga menggunakan kombinasi dua model penghitungan tersebut. Tefik Gemci et. al. [2] melakukan simulasi semprotan cairan dengan menggunakan *software* KIVA-3V.

Salah satu syarat untuk penggunaan model analogi

adalah bahwa bilangan Lewis bernilai satu, sedangkan bilangan Lewis premium bernilai sekitar tiga. Sehingga kesesuaian analogi Ranz-Marshall (yang dikombinasikan dengan model film stagnan) jika diterapkan untuk premium perlu diuji. Selain itu Kosasih E.A. dan Alhamid M.I. mengusulkan suatu modifikasi terhadap model film stagnan, yang jika diterapkan untuk penguapan tetesan air memberikan kesesuaian yang baik. Jadi penelitian ini juga akan mengujinya untuk penguapan premium.

### 2. Metode Penelitian



Gambar 1 Skema Alat uji Penelitian menggunakan susunan alat seperti ditunjukkan pada gb.1 dan gb.2.

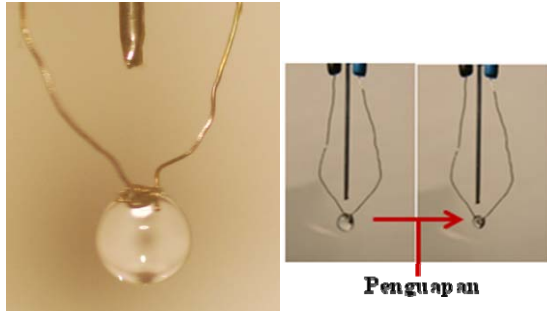




Gambar 2 Alat Uji

Udara dihembuskan oleh blower dengan 3 buah variasi laju (menggunakan inverter) melalui pemanas udara. Disini suhu udara keluar dikontrol dan divariasikan (yaitu; 50, 75, 100 dan 150 °C). Selanjutnya udara panas masuk kedalam ruang uji yang didalamnya terdapat tetesan premium (diameter ±2 mm) yang menggantung pada ujung termokopel rambut. Dengan demikian diameter tetesan mengecil (karena menguap). Diameter tetesan direkam dengan kamera SLR dan lensa mikro dan dengan kalibrasi panjang menggunakan mata bor.

Dengan mengukur diameter (dan perubahannya) dan suhu tetesan serta suhu dan laju aliran udara, maka perhitungan laju perpindahan panas dan laju perpindahan massa (penguapan) tetesan dapat dilakukan.



Gambar 3 Tetesan dan Penguapan

Kalor tiap satuan luas yang terlibat (pada suhu tetesan yang tetap) dalam proses penguapan ini adalah; kalor konveksi, kalor radiasi dan kalor konduksi (dari termokopel ke tetesan)

Kalor konveksi dari udara ke tetesan pada model film stagnan, StF:

$$q_0 = \frac{N_0 C_p (T_\infty - T_0)}{\left[ \exp(-N_0 C_p / h_L) - 1 \right]} \quad (1)$$

dengan  $N_0$  (pers. 2) adalah laju molal penguapan tiap satuan luas,  $C_p$  adalah kalor jenis molal udara,  $h_L$  adalah koefisien perpindahan panas ( $=Nu*k/d$ ).  $Nu$  adalah bilangan Nusselts,  $k$  adalah konduktivitas udara dan  $d$  adalah diameter tetesan,  $T$  adalah suhu serta  $subskrip 0$  dan  $\infty$  berturut turut adalah tetesan dan udara (aliran bebas).

$$N_0 = k_L \ln \left( \frac{1 - X_\infty}{1 - X_0} \right) \quad (2)$$

dengan  $X$  adalah fraksi uap bahan bakar di udara dan  $k_L$  adalah koefisien perpindahan massa ( $=Sh*D_{fa}/d$ ).  $Sh$  adalah bilangan Sherwoods,  $D_{fa}$  adalah difusivitas uap premium di udara.

Sedangkan pada model film stagnan yang dimodifikasi, Mod [3]:

$$q_0 = \frac{N_0 C_p (T_\infty - T_0)}{\left[ \exp(-N_0 C_p / h_L - C_p C_2 / k) - 1 \right]} \quad (3)$$

Dan

$$N_0 = k_L \left[ \ln \left( \frac{1 - X_\infty}{1 - X_0} \right) - C_1 \right] \quad (4)$$

Dengan

$$C_1 = -0,0011(T_\infty - T_0) - 1,0082(X_\infty - X_0) \quad (5)$$

dan

$$C_2 = -4,633.10^{-10}(T_\infty - T_0) + 1,6.10^{-7}(X_\infty - X_0) \quad (6)$$

Kalor radiasi dari udara ke tetesan:

$$q_{radiasi} = \alpha \cdot \sigma \cdot (T_\infty^4 - T_0^4) \quad (7)$$

dengan:

$\alpha$  = absorpsivitas,

$\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzmann

$$5,67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K}^4]$$

Kalor konduksi dari masing-masing kawat termokopel ke tetesan adalah [4]:

$$Q_{tk} = m k_{tk} \pi r_{tk}^2 (T_\infty - T_0) \tanh(mL) \quad (8)$$

dengan  $m = \sqrt{\frac{4h_{tk}}{k_{tk}d_{tk}}}$ ,  $h_{tk}$  koefisien konveksi udara ke



termokopel ( $0.615 Re_{tk}^{0.466} k / d_{tk}$ ),  $k_{tk}$ ,  $d_{tk}$  dan  $L$  adalah konduktivitas, diameter dan panjang termokopel (yang bersentuhan dengan udara).

Dengan demikian persamaan keseimbangan kalor adalah:

$$\underline{Q}_{tk} + (q_0 + q_{rad})\pi d^2 / 4 = N_0 h_{fg} \pi d^2 / 4 \quad (9)$$

Dari data eksperimen laju penguapan  $N_0$  dihitung dengan persamaan:

$$N_0 = \frac{\rho}{M} \left( \frac{dr}{dt} \right) \quad (10)$$

dengan  $\rho$ ,  $M$ ,  $r$  adalah berturut turut rapat massa, massa molekul dan jari-jari tetesan premium.

Dengan menggunakan susunan 10 persamaan diatas, data eksperimen akan menghasilkan bilangan Sherwoods dan bilangan Nusselts, baik untuk model film stagnan maupun untuk model modifikasinya.

Selain itu kedua bilangan tersebut juga bisa dihitung dengan menggunakan persamaan analogi Ranz-Marshall sebagai berikut:

$$Nu = 2 + 0.6 Re_p^{1/2} Pr^{1/3} \quad (11)$$

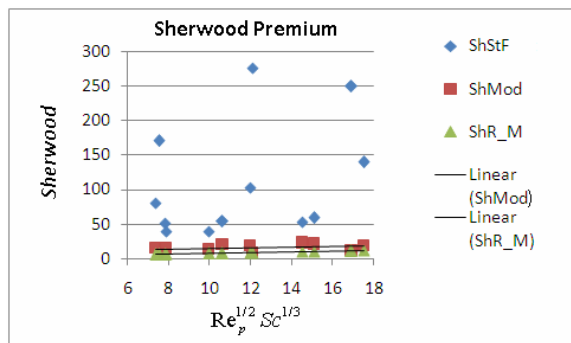
dengan  $Re_p$  bilangan Reynold tetesan dan Pr: bilangan Prandtl .  
Sehingga dengan analogi, untuk perpindahan massa berlaku:

$$Sh = 2 + 0.6 Re_p^{1/2} Sc^{1/3} \quad (12)$$

dengan  $Sc$  bilangan Schmidt.

### 3. Hasil

Berikut adalah perbandingan bilangan Sherwood antara model film stagnan dan model modifikasinya:

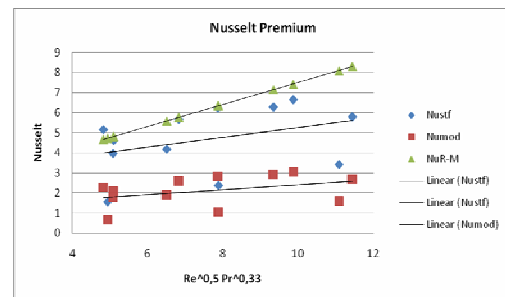


Gambar 4 Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model

Grafik pada gb.4 diatas menunjukkan bahwa nilai Sherwoods modifikasi berada cukup dekat dengan nilai Sherwoods yang menggunakan Ranz-Marshall. Nilai Sherwoods dengan model analogi film stagnan melenceng jauh diatas nilai model modifikasi dan dengan korelasi yang sangat lemah. Hal ini sesuai dengan yang ditunjukkan oleh Kosasih E.A. untuk penguapan tetesan air.

Jadi, untuk bahan dengan bilangan Lewis yang tidak sama dengan satu, kombinasi model analogi Ranz-Marshall dengan model modifikasi memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan model film stagnan.

Perbandingan Bilangan Nusselt pada grafik sebagai berikut :



Gambar 5 Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model

Perbandingan bilangan Nusselts menghasilkan kecenderungan yang sama dengan perbandingan bilangan Sherwoods diatas. Model Stagnan film memberikan korelasi yang lemah tapi nilainya lebih dekat (dibandingkan model modifikasi) ke model analogi Ranz-Marshall.

Penyebaran nilai model modifikasi lebih baik dibandingkan dengan model film stagnan yang berarti memiliki korelasi yang lebih kuat.

Karena, untuk bilangan Sherwoods, model modifikasi memiliki korelasi yang lebih baik dibandingkan model film stagnan dan nilainya jauh lebih dekat dengan nilai dari persamaan Ranz-Marshall maka untuk perpindahan massa persamaan analogi Ranz-Marshall lebih baik dikombinasikan dengan model modifikasi.

### 4. Kesimpulan

1. Model modifikasi mempunyai korelasi untuk nilai Sherwood dan nilai Nusselt yang lebih kuat dibandingkan dengan model film stagnan.
2. Model modifikasi mempunyai nilai Sherwood Nusselt yang lebih dekat dengan nilai yang dihasilkan dari persamaan analogi Ranz-Marshall dibandingkan dengan model film stagnan.



3. Untuk perpindahan massa, persamaan analogi Ranz-Marshall lebih baik dikombinasikan dengan dengan model modifikasi.

### Daftar Rujukan

- [1] Bennett C.O., Myers J.E. *Momentum, Heat and Mass Transfer*, (New York: McGraw Hill, 1982).
- [2] Gemci, T., et. al., *Simulation of Evaporating Spray and Comparison with Droplet*, Proceedings of ASME, Fluid Engineering Division - vol. 253 59-66, 2000.
- [3] Kosasih E.A. and Alhamid M.I., *A New Approach on Film Stagnat Model*, Proceedings of the International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Jakarta, Indonesia 2006, December 10-14, ISSN: 2006.
- [4] Kosasih E.A., *Kalor Konduksi dari Termokopel pada Alat Uji Penguapan Tetesan Air*, Prosiding Teknik Mesin Simposium Nasional Fakultas Tekin UMS, Solo, Indonesia, 17 Desember 2009, ISSN: 1412-9612.
- [5] Robert, C., Reid, Jhon, M., Prausnitz, Bruce, E., Poling, *The Properties of Gases & Liquids*, New York, 1986

