

# SIMULASI ALIRAN FLUIDA PADA KASUS KEBOCORAN GAS HIDROGEN

Oleh ;

**Dendi Adi Saputra M**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Andalas

E-mail: dendy\_ftua@yahoo.co.id

**Adek Tasri, Ph. D**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

Kampus Limau Manis, Padang 25163

## Abstrak

*Studi mengenai hidrogen ini terus berkembang dalam ilmu dinamika fluida baik teoritis, numerik maupun experimental. Banyak penelitian yang mempelajari tentang karakteristik dari hidrogen. Namun, penelitian secara eksperimen untuk kasus ini sangat susah dan mahal dilakukan, karena disebabkan oleh sifat  $H_2$  yang tidak berwarna dan berbau. Sehingga penelitian secara numerik sangat dibutuhkan. Studi hidrogen pada kegiatan ini adalah mengamati aliran difusi gas hidrogen dalam sebuah model dengan variasi ventilasi yang berbeda. Penelitian secara numerik pada tugas akhir ini dilakukan dengan mensimulasikan distribusi konsentrasi  $H_2$  didalam ruangan dengan menggunakan perangkat lunak komersil Fluent 6.2. Dari hasil simulasi didapatkan konsentrasi kritis terjadi di sudut ruangan yang berdekatan dengan sumber kebocoran pada  $t = 0.03$  s. Pada  $t = 6$  s, konsentrasi kritis tidak terbentuk lagi, hal ini dikarenakan adanya hidrogen yang keluar melalui ventilasi dan adanya udara yang masuk melalui pintu, sehingga terjadi pengenceran hidrogen.*

**Key Word** : Hidrogen, difusi dan ventilasi

## 1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan makin mahalnya harga bahan bakar fosil berdampak terhadap banyaknya upaya yang dilakukan untuk mencari sumber energi alternatif. Salah satu sumber energi alternatif yang belakangan ini mulai dimanfaatkan adalah hidrogen ( $H_2$ ) yang digunakan pada fuel cell. Hidrogen disukai karena mudah didapat dan hasil pembakarannya tidak mencemari lingkungan.

Disamping beberapa kelebihan yang dimiliki, hidrogen juga mempunyai permasalahan. Salah satu permasalahannya hidrogen adalah pada penyimpanannya. Hidrogen tidak berwarna dan tidak berbau sehingga seringkali tidak terdeteksi jika terjadi kebocoran. Hal ini sering menjadi sumber kebakaran pada ruang penyimpanan Hidrogen.

Peristiwa kebakaran yang disebabkan karena konsentrasi hidrogen yang tinggi di udara tidak hanya terjadi dalam ruang penyimpanan hidrogen. Hal ini juga dapat terjadi pada sebuah ruang yang terdapat baterai karena baterai melepaskan  $H_2$  ke udara yang berasal dari reaksi kimia di dalam baterai. Hal yang sama juga dapat terjadi pada kompresor hidrogen yang mengalami kebocoran.

Kebakaran terjadi jika konsentrasi  $H_2$  disuatu tempat tertentu dalam ruangan melebihi nilai batas kritisnya, 4% volume dan terdapat sumber panas. Dengan alasan ini, dinilai sangat perlu untuk

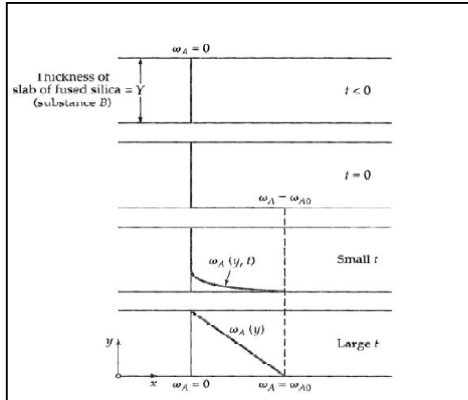
memperhatikan dan mempelajari distribusi gas  $H_2$  dalam ruangan pada saat kebocoran. Penelitian ini dapat dilakukan secara eksperimen atau numerik. Penelitian secara eksperimen untuk kasus ini sangat susah dan mahal dilakukan, karena disebabkan oleh sifat  $H_2$  yang tidak berwarna dan berbau. Sehingga penelitian secara numerik sangat dibutuhkan. Penelitian secara numerik pada tugas akhir ini dilakukan dengan mensimulasikan distribusi konsentrasi  $H_2$  didalam ruangan dengan menggunakan perangkat lunak komersil Fluent 6.2.

## 2. PENGERTIAN DAN TEORI DIFUSI

**Difusi** adalah peristiwa mengalirnya /berpindahannya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah. Contoh yang sederhana adalah pemberian gula pada cairan teh tawar. Lambat laun cairan menjadi manis. Contoh lain adalah uap air dari cerek yang berdifusi dalam udara. Difusi yang paling sering terjadi adalah difusi molekuler. Difusi ini terjadi jika terbentuk perpindahan dari sebuah lapisan (layer) molekul yang diam dari solid atau fluida.

Pada sistem ini diambil sebuah contoh difusi helium-silika dimana helium disebut "Spesies A" dan silika "Spesies B". Misalkan sebuah lembaran horizontal, plat silika kering dengan area A dan ketebalan Y. Konsentrasi ditunjukkan oleh fraksi massa ' $\omega_A$  dan  $\omega_B$ '. Fraksi massa  $\omega_A$  adalah

fraksi massa helium dibagi dengan massa helium ditambah massa silika. Dan fraksi massa  $\omega_B$  adalah sebaliknya.



**Gambar 1.** Profil Konsentrasi difusi helium ke silika.  $\omega_A$  merupakan fraksi massa helium dan  $\omega_{A0}$  adalah fraksi massa pelarutan helium yang berdifusi ke silika

Untuk waktu  $t$  kecil dari 0, fraksi massa helium  $\omega_A$  sama dengan nol. Untuk waktu  $t$  besar dari nol pada lower surface,  $y = 0$ , fraksi massa helium sama dengan  $\omega_{A0}$ . Fraksi massa  $\omega_A = \omega_{A0}$  pada permukaan bawah plat, dan  $\omega_A = 0$  pada permukaan atas plat. Dengan profil tegak lurus terhadap kenaikan  $t$ . Pada kondisi steady-state, ditemukan bahwa aliran massa dari helium bergerak ke arah  $y$  positif, yang dapat didekati dengan persamaan :

$$\frac{w_{Ay}}{A} = \rho D_{AB} \frac{W_{A0} - 0}{Y} \tag{1}$$

Laju aliran massa helium perunit area (Flux massa) sebanding dengan perbedaan fraksi massa dibagi dengan tebal plat. Dimana  $\rho$  adalah massa jenis/density dari sistem helium-silika, dan sebanding dengan faktor pembauran (Diffusivity)  $D_{AB}$ .

Persamaan (1) dijadikan persamaan diferensial sehingga menjadi :

$$j_{Ay} = -\rho D_{AB} \frac{d\omega_A}{dy} \tag{2}$$

Dimana flux  $\frac{\omega_{Ay}}{A}$  diganti dengan  $j_{Ay}$  dan flux massa helium dalam arah  $y$  positif.

Persamaan (2) adalah persamaan satu dimensi dari hukum pertama difusi Fick's. Persamaan ini berlaku untuk difusi zat padat, cair dan gas.

$j_{Ay}$  merupakan flux massa dengan kecepatan pembauran  $V_y$ . Untuk kasus difusi helium-silika diatas, helium bergerak lebih lambat dengan konsentrasi yang sangat kecil sehingga  $V_y$  dapat diabaikan.

Pada umumnya persamaan kecepatan pembauran untuk a binary mixture adalah :

$$V_y = \omega_A V_{Ay} + \omega_B V_{By} \tag{3}$$

$v$  adalah kecepatan rata-rata masing-masing spesies (A dan B).  $v_A$  dan  $v_B$ , kecepatan spesies A dan B akibat tahanan oleh fraksi massa.

Flux massa  $j_{Ay}$  dapat didefinisikan secara umum :

$$j_{Ay} = \rho \omega_A (v_{Ay} - v_y) \tag{4}$$

Flux massa B didefinisikan sebaliknya. Flux massa  $j_{Ay}$  dan  $j_{By}$  sama dengan  $j_{Ay} + j_{By} = 0$ . Jika dikombinasikan 3 persamaan untuk menuliskan persamaan difusi untuk arah  $x$  dan  $z$  maka didapatkanlah vektor dari hukum fick's :

$$j_{Ay} = -\rho D_{AB} \nabla \omega_A \tag{5}$$

$$j_{By} = -\rho D_{BA} \nabla \omega_B \tag{6}$$

### 3. KARAKTERISTIK KEBOCORAN GAS DALAM RUANGAN

Dilihat dari segi formasi kebocoran, sumber kebocoran gas dibagi kedalam 2 jenis, yaitu ;

1. *Instantaneous Source* (Kebocoran Seketika)
  2. *Continuous Source* (Kebocoran berlanjut)
1. *Instantaneous source* berasal dari pengumpulan gas dari gas yang mudah terbakar atau beracun dengan spesifikasi radius yang tinggi pada kasus sebuah tabung/tempat penyimpanan gas.
2. *Continuous source* merupakan kebocoran yang diakibatkan korosi yang terjadi pada tabung/tempat penyimpanan gas atau pipa, kerusakan pada katup dan sambungan menyebabkan gas keluar secara kontinu. Umumnya *instantaneous source* menghasilkan suara yang lebih besar daripada *continuous source*. Kebocoran gas *instantaneous source* jarang terjadi didalam ruangan karena tekanan pipa dalam ruangan biasanya rendah. Sebaliknya, kebocoran gas *continuous source* sering terjadi dalam ruangan karena ketika kebocoran terjadi gas yang mudah terbakar tidak langsung memenuhi ruangan secara cepat dan membutuhkan waktu yang lama.

### 4. MODEL KEBOCORAN GAS

Asumsi temperatur dari gas dan udara adalah sama, perpindahan panas yang disebabkan oleh perbedaan temperatur diabaikan

5. LAJU ALIRAN KEBOCORAN

Persamaan gas ideal :

$$\dot{m}_0 = C_d A \sqrt{\rho_0 P_0 \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \tag{7}$$

Dimana  $\dot{m}_0$ ,  $\rho_0$  dan  $P_0$  adalah laju aliran massa hidrogen, massa jenis gas dalam tabung dan tekanan gas didalam tabung pada  $t = 0$ ;  $A$  adalah luas kebocoran yang terjadi dan  $\gamma$  adalah rasio panas spesifik untuk hidrogen. Untuk hidrogen,  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1.4$ , dengan  $C_p$  dan  $C_v$  adalah panas spesifik pada tekanan konstan dan volume konstan.  $C_d$  merupakan koefisien discharge,  $C_d = 0.95$  yang direkomendasikan oleh Beek [4].

$$\begin{aligned} \dot{m}_0 &= 0.95 \times 0.00004 \text{m}^2 \sqrt{33.33 \text{kg/m}^3 \times 70.000.000 \text{Pa} \times 1.4 \left(\frac{2}{1.4+1}\right)^{\frac{1.4+1}{1.4-1}}} \\ &= 0.125 \text{ kg/s} \end{aligned} \tag{8}$$

Dengan menggunakan hukum gas ideal, maka hubungan laju aliran massa terhadap waktu dapat dituliskan kedalam persamaan :

$$\dot{m}(t) = -V \frac{d\rho}{dt} = \rho(t) u(t) A \approx \dot{m}_0 e^{-\frac{C_d A}{V} \sqrt{\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \frac{\rho_0 P_0}{RT}}} t \approx 0.125 e^{-2.15t} \tag{9}$$

Untuk mendapatkan nilai  $\rho_0$  terhadap fungsi waktu maka persamaan untuk  $\rho_0$  menjadi :

$$\rho(t) = \frac{m_0 - \int \dot{m} dt}{vol} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} \int \dot{m} dt &= \int 0.125 e^{-2.15t} dt \\ &= -0.058 e^{-2.15t} + 0.058 \end{aligned} \tag{11}$$

Sehingga total massa yang tinggal setelah terjadi kebocoran dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} M(t) &= m_0 - \int \dot{m} dt \\ &= (\text{massa hidrogen dalam tabung}) - (-0.058 e^{-2.15t} + 0.058) \\ &= 5 \text{kg} - (-0.058 e^{-2.15t} + 0.058) \end{aligned} \tag{12}$$

Penentuan Penurunan Tekanan pada saat terjadi kebocoran

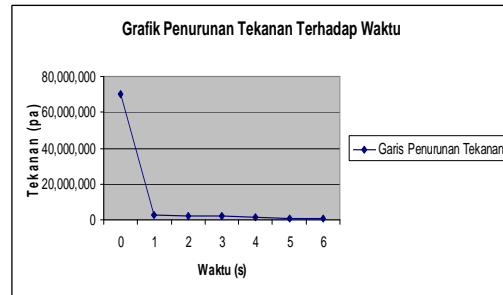
Dengan asumsi gas ideal, penurunan tekanan dapat dihitung dengan persamaan gas ideal dengan menggunakan persamaan M (massa) sebagai fungsi waktu pada persamaan 12, yaitu :

$$P \cdot Vol = M \cdot R \cdot T$$

$$P = M \left( \frac{RT}{Vol} \right) \tag{13}$$

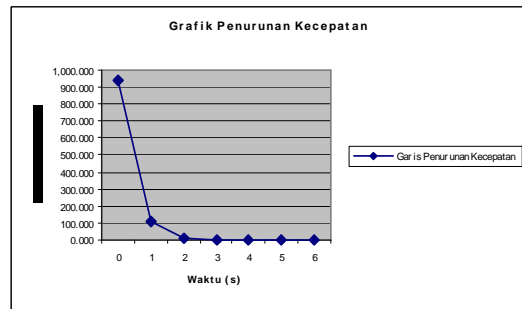
$$\begin{aligned} R &= 287 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{Kg} \cdot \text{K} \\ &= 0.15 \text{ m}^3 \\ T &= 300 \text{ K} \end{aligned} \tag{Vol}$$

Dari data perhitungan yang dilakukan dengan excel didapatkan grafik penurunan tekanan terhadap waktu :



Gambar 2. Grafik Penurunan Tekanan Terhadap Waktu

Dari penurunan tekanan, didapatkan juga grafik penurunan kecepatan yang merupakan fungsi waktu, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3



Gambar 3. Grafik Penurunan Kecepatan Terhadap Waktu

Maka didapatkan kecepatan kebocoran :

$$U_t = \frac{\dot{m} \cdot Vol}{\rho \cdot A} \tag{14}$$

$$= \frac{0.125}{\left(\frac{m_0 - 0.058}{e^{-2.15t}}\right) + 0.058} \cdot \frac{Vol}{A} \tag{15}$$

6. PEMODELAN NUMERIK

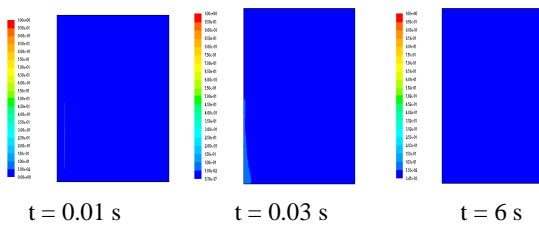
Hitungan dilakukan dengan menggunakan metoda finite volume pada elemen segiempat jenis *collocated grid*. Persamaan pengatur yang digunakan adalah persamaan momentum, persamaan kontinuitas, persamaan energi dan persamaan difusi. Aliran diasumsikan laminar. Solusi dilakukan melalui proses diskret. Metoda

*Semi-Implicit Method For Pressure-Linked Equation (SIMPLE)* digunakan untuk mendapatkan persamaan korelasi tekanan dan kecepatan. Distribusi variabel didalam elemen di asumsikan non linier derajat 2. Kondisi batas *Direchket* untuk kecepatan pada sisi masuk dan kondisi batas Newman untuk kecepatan pada sisi keluar. Aliran pada permukaan padat diasumsikan terjadi tanpa slip

**7. HASIL SIMULASI**

**Kasus I. Simulasi pada ruangan tertutup**

Perubahan distribusi hidrogen terhadap waktu mulai dari  $t = 0$  s sampai hidrogen dalam tabung habis yaitu pada  $t = 6$  s jika ruangan penyimpanan tertutup diperlihatkan pada Gambar 4.

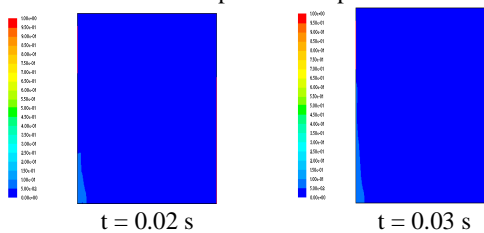


*Gambar 4. Distribusi Hidrogen Pada Ruangan Tertutup*

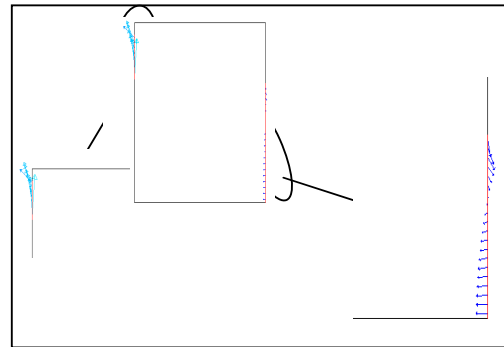
Dari distribusi gas hidrogen pada ruangan tertutup dapat dilihat bahwa pelepasan hidrogen terjadi dengan sangat cepat. Ketika terjadi kebocoran  $t = 0.01$  s  $H_2$  bergerak dalam arah hampir vertikal disepanjang dinding yang berdekatan sampai  $t = 0.03$  s.  $H_2$  terus menyebar dan langsung berdifusi dengan udara dalam ruangan sampai pada  $t = 6$  s sehingga daerah dibagian tengah ruangan tidak terdapat konsentrasi  $H_2$  yang tinggi. Daerah yang konsentrasi  $H_2$  nya lebih besar dari konsentrasi kritis [Lihat Bab 2.4], 4% volume, pada  $t = 0.03$  s terdapat disepanjang dinding yang berdekatan dengan kebocoran. Pada  $t = 6$  s terlihat konsentrasi hidrogen dibawah 4% dan berdifusi dengan udara yang berada dalam ruangan.

**Kasus II. Simulasi pada ruangan saat pintu dan jendela terbuka**

Perubahan distribusi hidrogen terhadap waktu pada ruangan saat pintu dan jendela terbuka diperlihatkan pada Gambar 3.5. Vektor kecepatan aliran udara pada pintu jendela dan ventilasi pada waktu  $t = 0.03$  s diperlihatkan pada Gambar 3.5.



*Gambar 5. Distribusi Hidrogen pada ruangan saat pintu dan jendela terbuka*



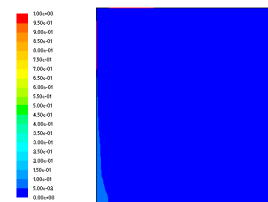
*Gambar 6. Vektor kecepatan pada ruangan saat pintu dan jendela terbuka  $t = 0.03$  s*

Untuk kasus ini, daerah berkonsentrasi tinggi juga terdapat dalam arah hampir vertikal disepanjang dinding yang berdekatan namun dengan kecepatan yang terbentuknya daerah berkonsentrasi kritis lebih kecil dibanding kasus (I). Hal ini diduga disebabkan oleh adanya sejumlah  $H_2$  yang keluar melalui jendela dan adanya aliran udara masuk melalui pintu yang mengakibatkan terjadinya pengenceran  $H_2$  yang ada diruangan, seperti yang terlihat pada Gambar 6.

**Kasus III. Simulasi pada ruangan dengan variasi posisi ventilasi**

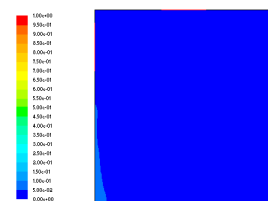
Perubahan distribusi hidrogen terhadap waktu pada ruangan dengan tiga macam posisi ventilasi diperlihatkan pada Gambar 7, 8, dan 9. Vektor kecepatan aliran didalam ruangan untuk ketiga jenis ventilasi tersebut pada waktu  $t = 0.03$  s diperlihatkan pada Gambar 10, 11 dan 12.

**Ventilasi 1 (Posisi Ventilasi terletak diatas posisi kebocoran)**



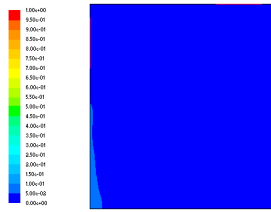
*Gambar 7. Distribusi Hidrogen pada ventilasi 1 pada  $t = 0.03$  s*

**Ventilasi 2 (Posisi Ventilasi terletak ditengah posisi langit-langit)**



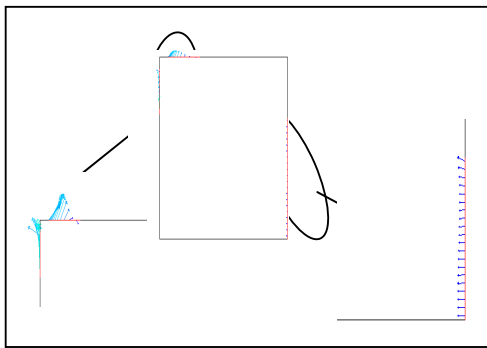
*Gambar 8. Distribusi Hidrogen pada ventilasi 2 pada  $t = 0.03$  s*

Ventilasi 3 (Posisi Ventilasi terletak disudut kanan bagian atas )

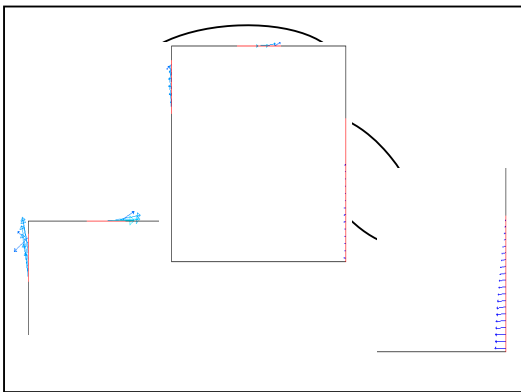


Gambar 9. Distribusi Hidrogen pada ventilasi 3 pada  $t = 0.03$  s

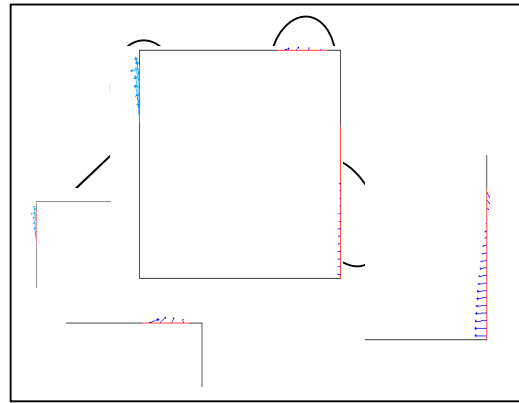
Pada Gambar 3.7 s.d 3.12 terlihat bahwa daerah yang mempunyai konsentrasi kritis mulai terbentuk sepanjang dinding vertikal dibuat sumber kebocoran pada  $t = 0.03$  s untuk ketiga posisi ventilasi yang di simulasikan.



Gambar 10. Vektor kecepatan ventilasi 1 pada  $t = 0.03$  s



Gambar 11. Vektor kecepatan ventilasi 2 pada  $t = 0.03$  s

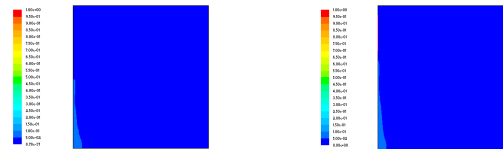


Gambar 12. Vektor kecepatan ventilasi 3 pada  $t = 0.03$  s

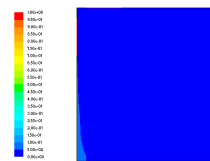
Dengan bervariasikan posisi ventilasi, terlihat bahwa konsentrasi hidrogen berkurang untuk dinding yang berdekatan dengan kebocoran. Hal ini dipengaruhi oleh adanya udara yang masuk melalui pintu sehingga hidrogen dengan cepat berdifusi dengan udara yang berada dalam ruangan tersebut. Pada kasus ventilasi berada tepat di atas kebocoran sejumlah lapisan tipis daerah berkonsentrasi kritis terdapat disepanjang dinding yang berdekatan dengan kebocoran.

**Perbandingan Distribusi Hidrogen Pada  $t = 0.03$ s**

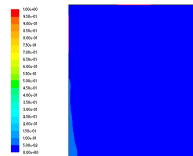
Ruangan tertutup      Jendela dan pintu terbuka



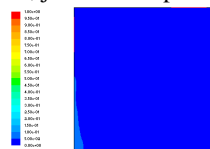
Ventilasi 1, jendela dan pintu terbuka



Ventilasi 2, jendela dan pintu terbuka



Ventilasi 3, jendela dan pintu terbuka



Gambar 13. Perbandingan Distribusi Hidrogen pada  $t = 0.03$  s

**8. KESIMPULAN**

- 1) Pada saat ruangan tertutup distirbusi  $H_2$  adalah sebagai berikut :  
 $H_2$  bergerak dari titik kebocoran dalam arah hampir vertikal sepanjang dinding menuju langit-langit dan turun ke dinding yang berseberangan sehingga daerah bagian tengah ruangan tidak terdapat konsentrasi  $H_2$  yang tinggi. Daerah berkonsentrasi kritis pertama kali dicapai setelah 0.03 detik dari awal terjadinya kebocoran dan terjadi pada daerah sekitar dinding yang berdekatan dengan sumber kebocoran.
- 2) Dengan melakukan simulasi kebocoran  $H_2$  pada ruangan saat pintu dan jendela terbuka dan bervariasi letak ventilasi dapat disimpulkan bahwa :
  - a) Pada ruangan saat pintu dan jendela terbuka, konsentrasi  $H_2$  lebih cepat menyebar keseluruh sisi ruangan. Pada  $t = 0.03$  s, konsentrasi kritis terbentuk di sudut ruangan yang berdekatan dengan sumber kebocoran.
  - b) Dengan bervariasi posisi ventilasi, konsentrasi  $H_2$  dapat dikontrol. Hidrogen lebih cepat berdifusi dan keluar melalui ventilasi-ventilasi yang dibuat. Selain itu, adanya udara yang masuk melalui pintu menyebabkan terjadinya pengenceran hidrogen sehingga konsentrasi kritis hidrogen tidak terjadi sampai massa gas hidrogen didalam tabung habis pada  $t = 6$  s.
- 3) Dari simulasi yang dilakukan penyebaran gas hidrogen terjadi sangat cepat, daerah terdekat dengan sumber kebocoran merupakan daerah yang awal terjadinya konsentrasi kritis.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Wu, Yuebin. 2007. *Simulation and Analysis Of Indoor Gas Leakage*. China: School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology
- Byron Bird. R. (2002). *Transport Phenomena 2<sup>nd</sup> Edition*, Wiley ; New York