

## **PEMODELAN PENGARUH PEMBERIAN KANOPI DAN KABUT TIRAI AIR TERHADAP PERGERAKAN DAN DENSITAS ASAP PADA LANTAI PENYELAMATAN (REFUGE FLOOR) BANGUNAN GEDUNG SANGAT TINGGI**

Ilham Ramdani, Muhammad Zilvan Bey, Yulianto S. Nugroho <sup>(\*)</sup>

Departemen Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Jawa Barat, 16424, Indonesia

<sup>(\*)</sup>Kontak penulis, e-mail: yulianto@eng.ui.ac.id (Y.S. Nugroho)

### **Abstrak**

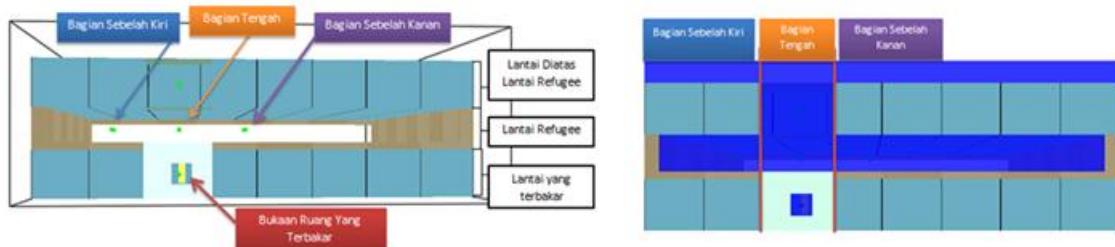
Pembangunan bangunan gedung bertingkat tinggi dalam beberapa tahun terakhir ini mengalami peningkatan yang sangat drastis, dimana ketinggian bangunan gedung tersebut saat ini sudah melebihi 200 meter. Tanpa adanya instalasi dan pemeliharaan yang baik bangunan gedung bertingkat tinggi akan sangat rawan terhadap bahaya kebakaran. Salah satu aspek yang harus diperhatikan adalah aspek keselamatan bagi seluruh penghuni apabila bangunan gedung tersebut mengalami kebakaran. Oleh karena itu, salah satu alternatif untuk mencapai tujuan keselamatan penghuni tersebut pada bangunan yang sangat tinggi adalah dengan menyediakan *refuge floor* yang bertindak sebagai tempat singgah sementara bagi penghuni yang tidak dapat melakukan evakuasi total. Namun salah satu permasalahan pada *refuge floor* ini adalah masuknya asap bila terjadi kebakaran pada lantai dibawah *refuge floor*, yang akan mengganggu pernafasan dan pengelihan bagi para penghuni yang singgah. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem yang dapat menanggulangi masuknya asap kedalam *refuge floor* tersebut, dimana salah satu cara tersebut adalah dengan memberikan sebuah kanopi dan tirai kabut air tepat pada lantai *refuge floor*, yang berfungsi sebagai penghalang asap yang bergerak menuju *refuge floor*.

**Kata kunci:** *Refuge floor*, Bahaya Kebakaran, Gedung Bertingkat, Asap

### **1. Pendahuluan**

Pembangunan bangunan gedung bertingkat tinggi dalam beberapa tahun terakhir ini mengalami peningkatan yang sangat drastis, dimana ketinggian bangunan gedung tersebut saat ini sudah melebihi 200 meter. [1]. Namun, tanpa adanya instalasi dan pemeliharaan yang baik bangunan gedung bertingkat tinggi akan sangat rawan terhadap bahaya kebakaran. Berdasarkan *Singapore Fire Code* dan *Hongkong Fire Code*, untuk bangunan gedung bertingkat tinggi, khususnya bangunan yang memiliki 30 lantai lebih, diwajibkan memiliki *refuge floor*. *Refuge floor* adalah lokasi di sebuah bangunan yang dirancang untuk menampung penghuni selama kebakaran berlangsung jika evakuasi keluar bangunan berkemungkinan tidak aman. Dengan adanya *refuge floor* ini, penghuni dalam bangunan dapat singgah sementara ke *refuge floor* sampai aparat pemadam kebakaran datang. Berdasarkan peraturan baru, dinyatakan bahwa *refuge floor* harus disediakan di semua bangunan melebihi 25 lantai dengan interval tidak kurang dari 20 lantai dan tidak lebih dari 25 lantai. Oleh karena itu

untuk menjalankan fungsi tersebut dengan baik, *refuge floor* harus menjadi tempat yang aman dan nyaman untuk evakuasi sementara, dimana salah satunya adalah harus terhindar dari asap yang merupakan suatu permasalahan pada *refuge floor*. mengingat bahwa *refuge floor* merupakan ruang terbuka, bila suatu kebakaran terjadi pada lantai yang berada tepat dibawah *refuge floor*, maka asap akan berkemungkinan untuk memasuki *refuge floor*. Dalam dunia keselamatan kebakaran, cara untuk mengatasi masuknya asap kedalam suatu ruang diantaranya adalah dengan menggunakan sistem pressurisasi, tirai kabut air, dan sebagainya. Namun dalam penelitian ini hal yang digunakan untuk mengatasi masuknya asap kedalam *refuge floor* tersebut adalah dengan memberikan suatu *overstack* (kanopi) dan *watermist* pada *refuge floor*.

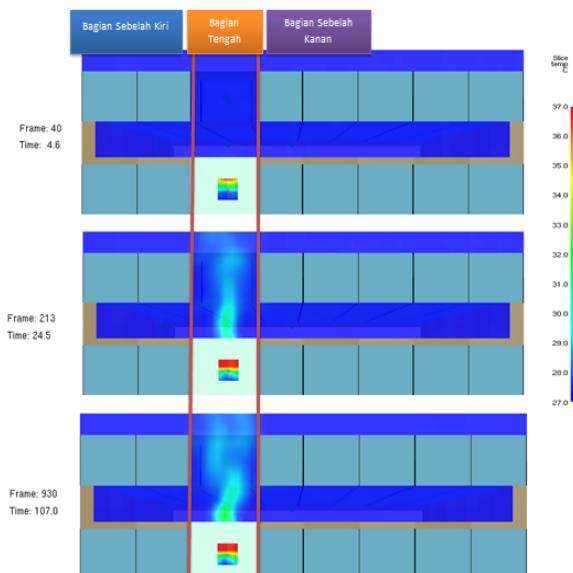


**Gambar 2.1** Penjelasan Bagian Kompartemen yang Akan Diteliti (Atas) dan Pembagian Kompartemen Beserta Slashfile Temperature (Bawah)

## 2. Analisa Bagian pada Refuge floor

Eksperimen maupun simulasi penelitian ini akan dilaksanakan pada bagian dari *refuge floor*. Oleh karena itu sub bab ini akan mengkaji bagian tersebut, untuk mendapatkan dan mengetahui bagian yang memiliki obskurasasi asap yang tinggi pada *refuge floor* tersebut. Kajian ini akan dilaksanakan dalam FDS.

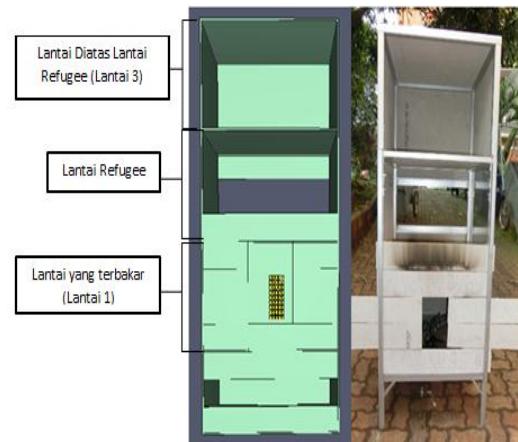
Berdasarkan gambar 2.1 *Refuge floor* dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian kiri, bagian tengah, dan bagian kanan. Bagian-bagian inilah yang akan diteliti tingkat obskurasinya, dimana bagian yang memiliki tingkat obskurasinya tertinggi akan digunakan dalam simulasi dan eksperimen.



**Gambar 2.2** Visualisasi pergerakan asap disetiap bagian

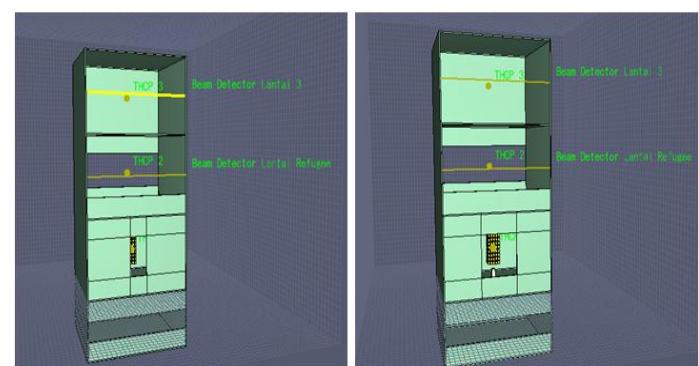
Berdasarkan gambar 2.2 Terlihat bahwa asap hanya bergerak pada bagian tengah, dan tidak bergerak ke bagian kanan maupun kiri. Oleh karena itu, setelah mengetahui kondisi terburuk adalah bagian tengah, maka bentuk kompartemen (model) eksperimen maupun simulasi adalah sebagai berikut.

Gambar 2.3 Bentuk model kompartemen yang didapat akan digunakan sebagai kondisi awal eksperimen maupun simulasi. Kondisi awal yang digunakan untuk penelitian ini adalah kompartemen dengan bukaan (Vent) pada ruang



**Gambar 2.3** Bagian analisis pada simulasi (kiri) dan eksperimen (kanan)

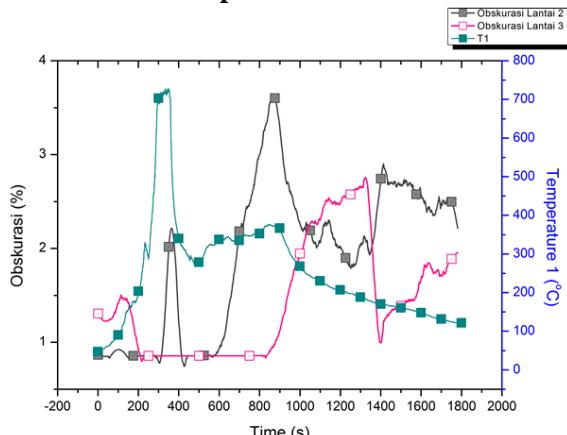
yang terbakar sebesar  $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  ( $20\text{cm} \times 10\text{cm}$ ), dan  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$  ( $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ ). Berikut merupakan gambar kompartemen kondisi awal yang akan digunakan dalam simulasi.



**Gambar 2.4** Kondisi Model Kompartmen Awal Simulasi Bukaan  $20 \times 10 \text{ cm}$  dan  $20 \times 20 \text{ cm}$

## 2.1. Hubungan Formulasi Asap dengan Temperatur

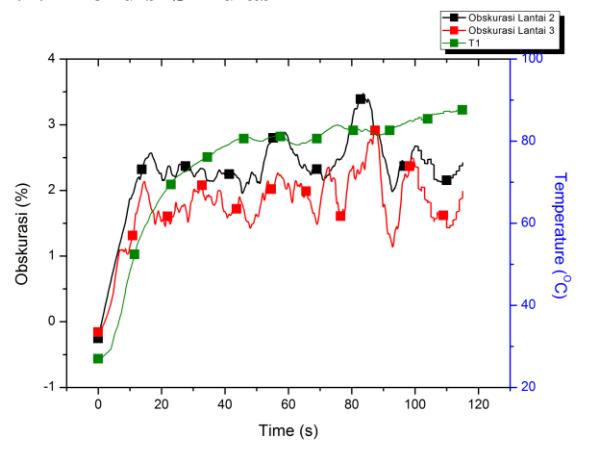
### 2.1.1 Kondisi Eksperimen



**Gambar 2.5** Obskursasi Vs Temperatur Pembakaran Eksperimen

Gambar 2.5 diatas menunjukkan hubungan antara obskursasi asap dan temperatur bahan bakar. Terlihat dalam Gambar 2.5 bahwa cribs menghasilkan asap secara smoldering, oleh karena itu saat cribs terbakar, produksi asap yang dihasilkan sedikit namun menghasilkan temperatur yang besar.

### 2.1.2 Kondisi Simulasi



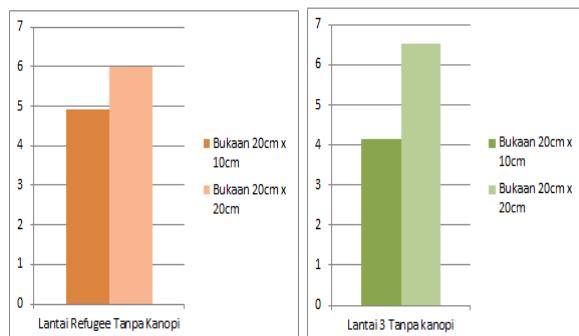
**Gambar 2.6** Obskursasi vs Temperatur Pembaharan Simulasi

Gambar 2.6 diatas menunjukkan hubungan temperature dan obskursasi dalam simulasi. Dalam simulasi bahan bakar dan proses pembakaran pada simulasi bersifat flaming, dimana nyala api dan produksi asap berlangsung secara bersamaan. Namun, proses pembentukan asap dan obskursasi relatif sama dengan kondisi eksperimen. Hal ini dikarenakan FDS dirancang memang untuk mengetahui proses pembentukan dan penyebaran asap dari suatu bahan bakar, namun untuk melakukan pembakaran secara pyrolysis harus

dilakukan set-up secara manual [5] dan hal tersebut merupakan kasus spesifik.

## 2.2. Pengaruh Besar Bukaan Terhadap Obskursasi dan Temperatur

Gambar 2.7 diatas menunjukkan pengaruh besar bukaan untuk ruang yang terbakar terhadap formulasi dan obskursasi asap dimana dalam

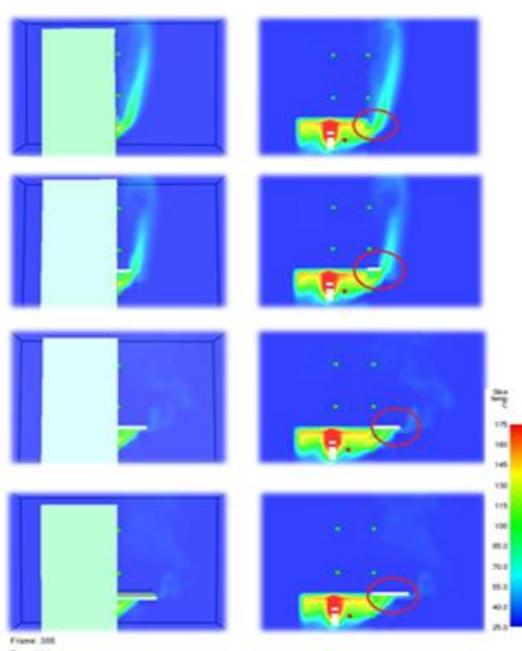


**Gambar 2.7** Pengaruh Perbedaan Luas Bukaan Pada Ruang yang Terbakar

gambar tersebut terlihat bahwa untuk bukaan 20cm x 20cm lebih besar dibanding 20cm x 10cm.

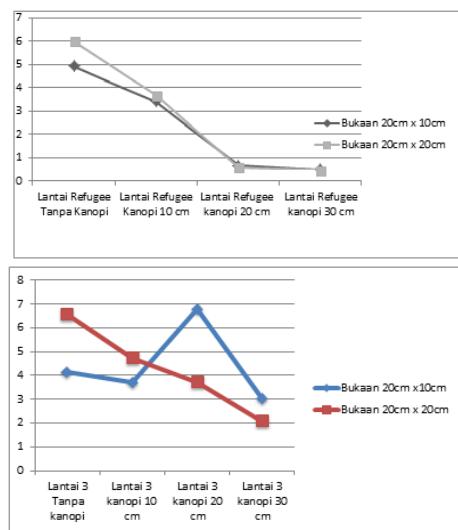
## 2.3. Pengaruh Pemberian Kanopi Terhadap Pergerakan Asap

Kanopi berpengaruh terhadap pergerakan asap, dimana bila semakin panjang kanopi tersebut semakin baik karena waktu yang dibutuhkan asap untuk melewati kanopi yang lebih panjang lebih besar dibandingkan kanopi yang lebih pendek.



**Gambar 2.8** Slashfile Temperature

Berdasarkan Gambar 2.8 diatas terlihat bahwa pemberian kanopi memberikan pengaruh kepada aliran asap, dimana aliran asap terhambat. Berikut merupakan grafik pengaruh kanopi terhadap pergerakan asap masuk menuju *refuge floor* maupun lantai tiga.



**Gambar 2.9** Pengaruh Pemberian Kanopi Terhadap Nilai Obskurasi Asap Pada *Refuge floor* (kiri) dan pada lantai tiga (kanan)

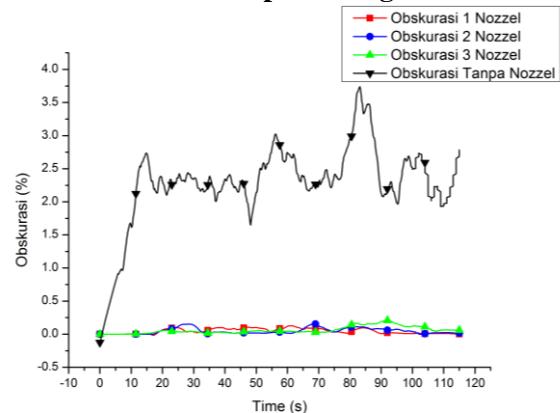
Berdasarkan Gambar 2.9 diatas maka terlihat bahwa kanopi memberikan efek signifikan untuk mencegah masuknya asap kedalam *refuge floor* tersebut, dimana semakin panjang kanopi, asap yang masuk kedalam *refuge floor* semakin sedikit. Oleh karena itu, didapat kondisi paling efektif adalah bila kompartemen memiliki bukaan pada ruang yang terbakar sebesar 20cm x 20cm dan panjang kanopi 30cm.

#### 2.4. Pengaruh Pemberian Watermist dan Kanopi Terhadap Formulasi Asap dan Distribusi Temperatur

Pada bagian ini akan dibahas mengenai analisa pemberian watermist terhadap obskurasi asap. Pada bagian ini akan dijelaskan pengaruh pemberian 1, 2 dan 3 buah watermist dan pemberian kanopi sehingga dapat diambil kesimpulan sementara cara yang paling efektif agar asap tidak masuk ke *refuge floor*.

##### 2.4.1 Pengaruh Pemberian Watermist Terhadap Penyebaran Asap dan Distribusi Temperatur

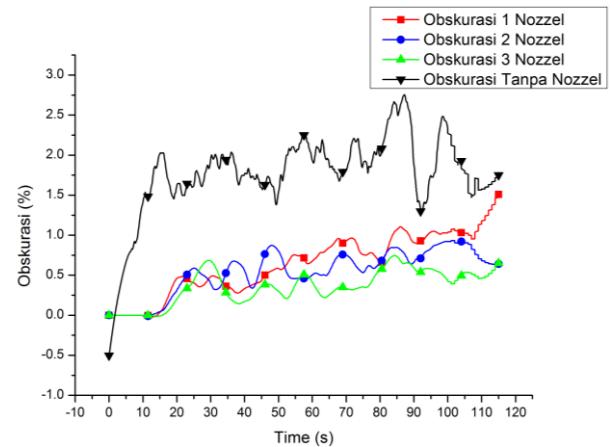
##### 2.4.1.1 Obskurasi Asap di Refuge floor



**Gambar 3.0** Grafik perbandingan obskurasi asap di *refuge floor* tanpa dan dengan *watermist*

Dari gambar di atas terlihat grafik yang merupakan nilai obskurasi hasil simulasi FDS. Flow rate yang digunakan setiap *nozzle* pada sistem *watermist* yakni berkisar 22,5 liter/menit untuk kejadian sebenarnya. Sedangkan pada skala simulasi berkisar 0,07 liter/menit. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa pemberian tirai kabut air mempengaruhi pergerakan asap menuju *refuge floor* dimana asap yang memasuki *refuge floor* semakin sedikit.

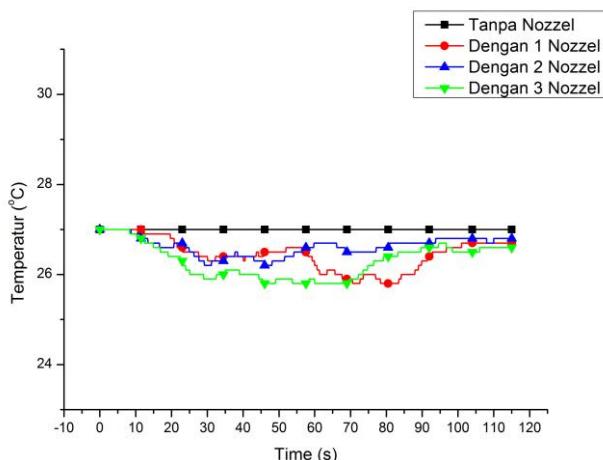
##### 2.4.1.2 Obskurasi Asap di Lantai 3



**Gambar 3.1** Grafik perbandingan obskurasi asap di lantai 3 tanpa dan dengan *watermist*

Gambar 3.1 merupakan perbandingan obskurasi pada lantai 3 tanpa dan dengan sistem *watermist*. Berdasarkan gambar diatas terlihat perbedaan saat menggunakan satu, dua dan tiga *nozzle*. Semakin banyak *nozzle* yang digunakan maka akan semakin sedikit asap yang masuk ke *refuge floor*. Hal ini disebabkan karena *droplet* air yang dihasilkan *nozzle* akan menyerap asap yang lewat sehingga bercampur dan jatuh bersama kabut tersebut.

#### 2.4.1.3 Temperatur di Refuge floor



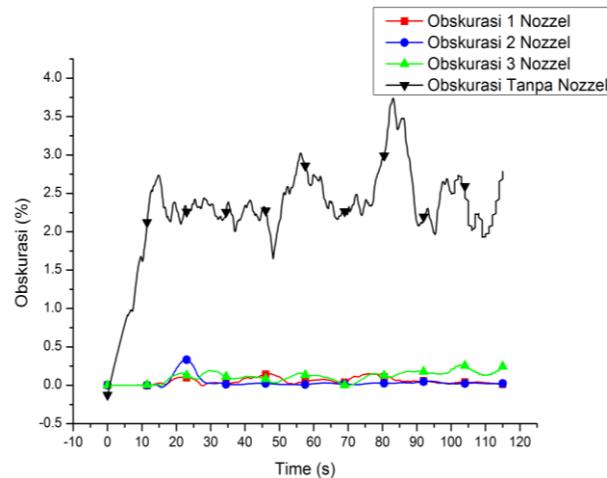
**Gambar 3.2** Grafik perbandingan temperatur di *refuge floor* tanpa dan dengan *watermist*

Pada gambar 3.2 dapat dilihat perbedaan temperatur di *refuge floor* tanpa dan dengan penggunaan *watermist*. Saat tanpa *watermist*, kita melihat temperatur di *refuge* cenderung konstan yakni berkisar antara 27°C. Penggunaan sistem *watermist* pada *refuge* mempengaruhi temperatur di *refuge floor* itu sendiri. Temperatur di *refuge floor* menurun akibat temperatur panas yang akan masuk ke *refuge floor* terhalang oleh kabut tirai air yang dikeluarkan oleh *nozzle*.

#### 2.4.2 Pengaruh Pemberian Watermist dan Kanopi Terhadap Penyebaran Asap dan Distribusi Temperature

Berdasarkan subbab 2.3 diketahui bahwa oksurasi asap paling sedikit untuk *refuge floor* dan lantai tiga adalah bila bukaan pada ruang yang terbakar sebesar 20cm x 20cm dan panjang kanopi 30cm. Oleh karena itu, subbab ini akan menganalisa kondisi tersebut dengan adanya penambahan *watermist*.

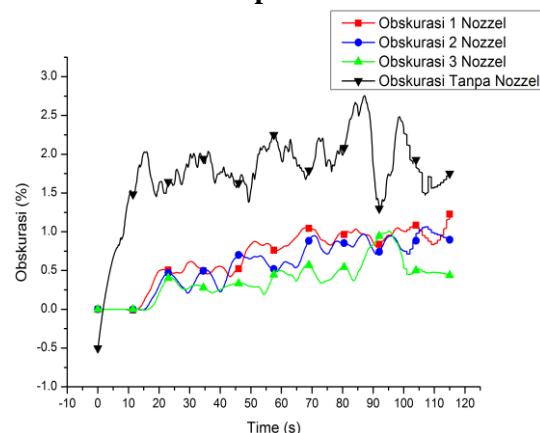
#### 2.4.2.1 Oksurasi Asap di Refuge floor



**Gambar 3.3** Grafik perbandingan oksurasi asap di *refuge floor* tanpa dan dengan *watermist* & kanopi

Gambar 3.3 menunjukkan efek pemberian *watermist* dan *kanopi* pada *refuge floor*. Flow rate yang digunakan setiap *nozzle* pada sistem *watermist* yakni berkisar 22,5 liter/menit untuk kejadian sebenarnya. Sedangkan pada skala simulasi berkisar 0,07 liter/menit. Partikel-partikel asap yang keluar dari lantai satu tertahan oleh *kanopi* sehingga partikel asap yang akan masuk ke *refuge floor* menjadi lebih sedikit. Terlebih lagi pada *refuge floor* terdapat *watermist* yang dapat menghalangi asap masuk ke lantai tersebut.

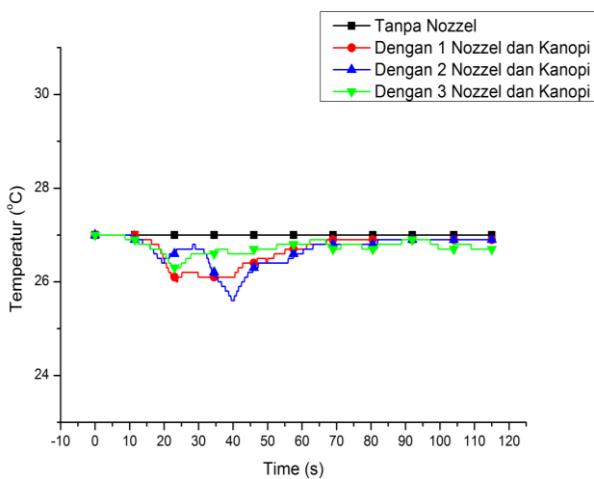
#### 2.4.2.2 Oksurasi Asap di Lantai 3



**Gambar 3.4** Grafik perbandingan oksurasi asap di lantai 3 tanpa dan dengan *watermist* & kanopi

Berdasarkan gambar 3.4, hal yang sedikit berlawanan terjadi di lantai tiga. Berdasarkan gambar tersebut terlihat juga perbedaan saat menggunakan satu, dua dan tiga *nozzle*. Semakin banyak *nozzle* yang digunakan maka akan semakin sedikit asap yang masuk ke *refuge floor*.

#### 2.4.2.3 Temperatur di Refuge floor



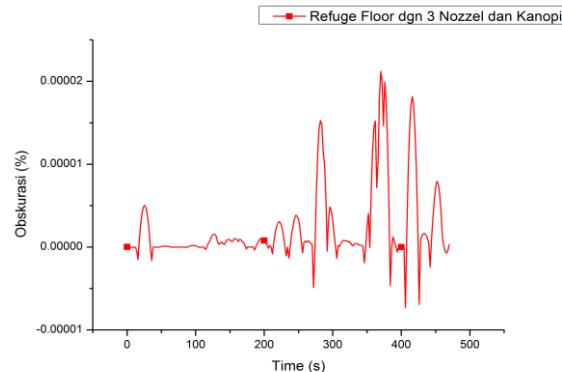
**Gambar 3.5** Grafik temperatur di *refuge floor* tanpa dan dengan *watermist* & kanopi

Pada gambar 3.5 dapat dilihat perbedaan temperatur di *refuge floor* tanpa dan dengan penggunaan *watermist* dan kanopi. Saat tanpa *watermist*, kita melihat temperatur di *refuge floor* cenderung konstan yakni berkisar antara 27°C. Temperatur di *refuge floor* menurun akibat temperatur panas yang akan masuk ke *refuge floor* terhalang oleh kabut air yang dikeluarkan oleh *nozzle*. Semakin banyak *nozzle* maka akan semakin banyak air yang keluar sehingga temperatur di *refuge floor* akan semakin menurun.

#### 2.5. Analisis Pengaruh Angin Pada Keadaan Teraman di *Refuge floor*

Berdasarkan analisa dalam subbab 2.4, dapat diketahui bahwa kompartemen yang memiliki bukaan pada ruang yang terbakar sebesar 20cm x 20cm menggunakan sistem 3 nozzle serta panjang kanopi 30cm merupakan kondisi paling efektif untuk mencegah masuknya asap. Namun, perlu diberikan faktor angin untuk merealisasikan keadaan tersebut. Berdasarkan dengan mengasumsikan ketinggian lantai adalah 80m, didapat bahwa kecepatan angin adalah 5,5 m/s dan untuk permodelan simulasi adalah 1,74 m/s. Gambar berikut merupakan pengaruh pemberian angin terhadap nilai obskurasinya pada *refuge floor* maupun lantai tiga.

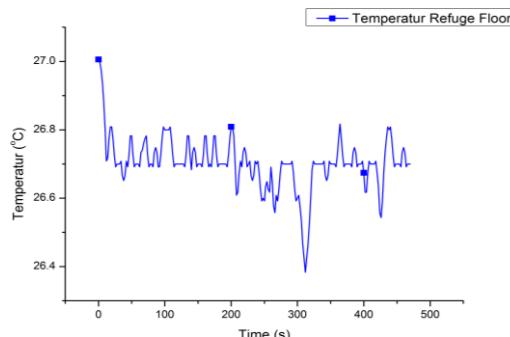
#### 2.5.1 Obskurasasi Asap di *Refuge floor*



**Gambar 3.6** Pengaruh angin terhadap obskurasasi di *refuge floor* dengan *watermist* dan kanopi

Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa dengan adanya pemberian angin, obskurasasi pada *refuge floor* dan lantai tiga memiliki nilai yang kecil. Hal ini menunjukan bahwa dengan adanya pemberian angin, asap yang memasuki *refuge floor* dan lantai tiga semakin sedikit. Hal ini disebabkan karena, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dengan adanya pemberian kanopi dan *watermist*, aliran asap terhambat.

#### 2.5.2 Temperatur di *Refuge floor*



**Gambar 3.7** Pengaruh angin terhadap temperatur di *refuge floor* dengan *watermist* dan kanopi

Grafik diatas menunjukan pengaruh pemberian faktor angin terhadap pergerakan asap. Karena adanya angin, asap yang keluar dari sumber kebakaran tertahan oleh kanopi, karena angin mendorong asap masuk kembali ke kompartemen. Asap yang menuju *refuge floor* menjadi lebih sedikit, terlebih di *refuge floor* terdapat *watermist* yang dapat menghalangi asap masuk sehingga temperatur yang terbaca termokopel di *refuge floor* cenderung menurun.

### 3. Kesimpulan dan Saran

Dari keseluruhan eksperimen dan simulasi yang dilakukan untuk menganalisa pemberian kanopi

dan *watermist*, pada akhirnya dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Asap memiliki sifat yang hampir sama dengan fluida lainnya yaitu bergerak dari tempat bertekanan tinggi ke tempat bertekanan rendah.
- Pengaktifan tirai kabut air serta penambahan kanopi menyebabkan penurunan nilai obskursasi dan temperatur baik pada *refuge floor* maupun di lantai ketiga
- Semakin panjang kanopi yang diberikan serta semakin banyak *nozzle* yang digunakan dalam *watermist* mengakibatkan semakin banyak juga asap yang terhalang menuju *refuge floor*.
- Pemberian angin menyebabkan pergerakan asap yang sudah tidak beraturan ini semakin tidak teratur, dimana ketidak teraturan ini menyebabkan ketebalan asap berkurang sehingga nilai obskursasi pada *refuge floor* dan lantai tiga menurun

## Referensi

- [1] S. Nugroho, Yulianto (2009). Compartiment Fire. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [2] SNI 03-3985-2000 Tata cara perencanaan, pemasangan dan pengujian sistem deteksi dan alarm kebakaran untuk pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan gedung.
- [3] Suprapto, 1992, Sistem Proteksi Kebakaran pada Bangunan Gedung, Lembaga Pengabdian pada Masyarakat, Institut Teknologi Bandung-PT.Jaya Teknik Indonesia, Jakarta, hlm.30.
- [4] SIU MING LO' Department of Building & Construction City University of Hong Kong Hong Kong, BARRY F. WILL2 Department of Architecture University of Hong Kong, Hong Kong: A View to the Requirement of Designated *Refuge Floors* in High-rise Buildings in Hong Kong
- [5] McGrattan, K., et al., Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide, National Institute of Standards and Technology, USA, 2007.
- [6] Quintiere, G.J. (2006). Fundamentals of Fire Phenomena. England: John Wiley & Sons.
- [7] Mulholland, G.W., Smoke Production and Properties, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, Quincy, MA, Section 2/Chapter 13, 3rd Edition, 2002
- [8] Drysdale, D., An Introduction to Fire Dynamics, 2nd Edition, John Wiley& Sons, John Wiley & Sons, 2003
- [9] SNI 03-1746-2000, Tata Cara Perencanaan dan Pemasangan Sarana Jalan ke Luar untuk Penyelamatan Terhadap Bahaya Kebakaran pada Bangunan Gedung, 2000
- [10] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 36 Tahun 2005, Peraturan Pelaksanaan Undang-undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, 2005
- [11] NFPA 101 Life Safety Code, Technical/Substantive Change, 3.3.28.7 Page 1, 2003 Edition to 2006 Edition
- [12] Kohno, Mamoru. 2007. High-Rise Building Fires. Building Department, National Institute for Land and Infrastructure Management.
- [13] Klote, J.D., Smoke Control, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, Quincy, MA, Section 4/Chapter 12, 3rd Edition, 2002
- [14] Andrew Hart, R., "Numerical Modelling of Tunnel Fires and Water Mist Suppression", The University of Nottingham, December 2005
- [15] Doolan, Con., "The Effect of Water Mist and Water Spray on Radiative Heat Transfer for Stored Ordnance", DSTO Systems Sciences Laboratory, Weapons Systems Division Defence Science and Technology Organisation, Edinburgh South Australia, July 2003.
- [16] Mawhinney, J., R., and Back, G., G., "Water Mist Fire Suppression Systems", The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, Quincy, MA, Section 4/Chapter 14, 3rd Edition, 2002.
- [17] Ingason, Haukur (2007). Model Scale Railcar Fire Tests. Science Direct, Fire Safety Journal. Swedish:National Testing and Research Institute
- [18] McGrattan, Kevin (2007). Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. USA: National Institute of Technology
- [19] Council on Tall Buildings and Urban Habitat, S.R. Crown Hall, Illinois Institute of Technology, 3360 South State Street, Chicago, IL 60616-3793 USA
- [20] Ruedas, F B., Camacho, C Á, and Marcuello, S.R., Methodologies Used in the Extrapolation of Wind Speed Data at Different Heights and Its Impact in the Wind Energy Resource Assessment in a Region, in Wind Farm - Technical Regulations, Potential Estimation and Siting Assessment, edited by Gastón O. Suvire, InTech Publisher, June 14, 2011.
- [21] A fire safety study of Hong Kong refuge floor building wall layout design: Charles C.K. Cheng, Department of Building and Construction, City University of Hong Kong, 83 Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong