

Analisis Waktu Evakuasi Kebakaran Pada Gedung Tokong Nanas Dengan Perangkat Lunak Pyrosim Dan Pathfinder

1st Qorie Yuslina Khoirunnisa

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

aqorie@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Amaliyah R. I. U

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

amaliyahriu@telkomuniversity.co.id

3rd Wahyu Sujatmiko

Pusat Litbang Perumahan dan

Pemukiman

Kementerian PUPR

Bandung, Indonesia

wahyu.s@puskim.pu.go.id

Abstrak - Undang-Undang No. 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung menyebutkan seluruh bangunan gedung yang akan dibangun harus memenuhi beberapa persyaratan dalam proses pembangunannya. Bahaya kebakaran memiliki resiko kerugian baik secara materi hingga korban nyawa. Maka dari itu, setiap bangunan perlu memiliki model evakuasi yang dapat menunjang proses evakuasi pada saat terjadi bencana kebakaran. Simulasi model evakuasi dapat dilakukan secara real ataupun dengan program perangkat lunak. Simulasi secara real dapat dilakukan dalam bentuk pelatihan untuk penghuni, sedangkan secara program perangkat lunak dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak diantaranya adalah simulasi kebakaran dengan menggunakan *Pyrosim* dan simulasi evakuasi dengan menggunakan *Pathfinder*. Pada penelitian ini menunjukkan pola persebaran api dan asap hasil kebakaran pada Gedung Tokong Nanas dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan evakuasi pada saat terjadi bencana kebakaran. Waktu evakuasi untuk setiap kasus akan berbeda bergantung pada kepadatan penghuni dan denah bangunan. Pada penelitian ini menerapkan tiga skenario evakuasi. Skenario pertama mengasumsikan jumlah penghuni dalam bangunan adalah 5565 orang dengan total waktu evakuasi selama 43 menit. Skenario kedua mengasumsikan jumlah penghuni adalah 1085 orang dan total waktu evakuasi total selama 10 menit, dan skenario terakhir mengasumsikan jumlah penghuni dalam bangunan adalah 840 orang dengan waktu total evakuasi selama 9 menit.

Kata kunci : Kebakaran, evakuasi, *Pyrosim*, *Pathfinder*, Gedung Tokong Nanas, keamanan, mitigasi bencana kebakaran

I. PENDAHULUAN

Perencanaan proses evakuasi yang matang sangat diperlukan agar jika terjadi bencana kebakaran dapat mengurangi kerugian, baik berupa korban jiwa hingga kerugian harta benda. Setiap bangunan harus memiliki ketentuan dan prosedur keadaan darurat yang efektif dan efisien sehingga dapat mengurangi kerugian yang akan ditimbulkan. Rancang bangunan gedung akan mempengaruhi ketepatan waktu proses evakuasi

manusia dalam sebuah bangunan [1]. Besar bangunan akan mempengaruhi kriteria kebutuhan sarana dan prasarana untuk evakuasi kebakaran. Sarana dan prasarana tersebut akan dipengaruhi oleh besar dan/atau luas dari bangunan gedung tersebut. Pola penyebaran api akan mempengaruhi sistem evakuasi dimana akan mempengaruhi lama waktu evakuasi kebakaran.

II. DASAR TEORI DAN METODOLOGI PERANCANGAN

A. Fire Response Performance

Fire response performance adalah sebuah kemampuan individu untuk memahami dan menafsirkan tanda-tanda bahaya serta membuat keputusan yang bertujuan agar selamat dari kebakaran. Performansi ini terdiri sebuah proses yang saling berhubungan. Proses tersebut terbagi menjadi tiga tahap, proses pertama adalah penghuni memahami adanya bahaya kebakaran. Proses kedua adalah penghuni melakukan validasi terhadap ancaman dan indikator adanya bahaya kebakaran, dan proses terakhir adalah penghuni melakukan evakuasi. Karakteristik api akan memberikan pengaruh langsung terhadap tingkat respons kebakaran dari api itu sendiri dan pada akhirnya karakteristik bangunan juga memiliki hubungan secara langsung dengan performansi kebakaran karena secara geometri, bangunan memiliki hubungan langsung dengan pola persebaran kebakaran [2].

1. Api dan Kebakaran

Api dihasilkan dalam proses kimia oksidasi yang berlangsung dengan cepat dan disertai pelepasan energi dan panas. Api timbul akibat bertemunya tiga unsur yang kemudian dikenal segitiga api. Teori segitiga api menjelaskan bahwa api membutuhkan tiga unsur untuk saling bereaksi, yaitu bahan bakar, sumber panas, dan oksigen [3]. Kebakaran merupakan salah satu bencana yang sering terjadi terutama di daerah padat penduduk dan dapat terjadi di tempat manapun termasuk di ruangan tertutup. Besarnya kebakaran dalam ruangan akan dipengaruhi oleh beban api, geometri ruangan, dan geometri ventilasi. Intensitas kebakaran yang meningkat

akan ditandai dengan kecepatan penjaralan api dan panas yang sangat tinggi dalam kurun waktu yang relatif singkat.

2. Asap

Asap adalah salah satu residu sisa pembakaran yang terdiri dari gas dengan temperatur tinggi yang terdiri dari CO_2 dan H_2O berwujud sekumpulan partikel berwarna abu dan cenderung mengganggu penglihatan dalam proses evakuasi. Jarak minimum untuk penghuni yang sudah mengetahui jalur evakuasi dengan baik adalah 15-20 meter dan untuk penghuni yang belum mengetahui jalur evakuasi dengan baik memiliki jarak minimum penglihatan dalam kebakaran hanya sejauh 3-5 meter. Asap merupakan salah satu hasil pembakaran yang sangat berbahaya karena lebih dari 50% kematian dalam bencana kebakaran terjadi karena partikulat asap yang terhirup memiliki kemungkinan mengandung zat-zat beracun. Jumlah produksi asap dari setiap sumber api sangat bervariasi bergantung dari lamanya proses kebakaran [4]. Massa jenis dan racun yang terkandung dalam asap tergantung dari bahan yang terbakar, sedangkan volume dari asap yang terbentuk tergantung dari ukuran api dan bentuk geometri bangunan. Pergerakan asap mengikuti hukum dasar dari mekanikal fluida.

3. Karakteristik Bangunan

Struktur dan geometri bangunan akan mempengaruhi tingkat kepadatan penduduk, kemudahan dalam menemukan jalur evakuasi, dan penempatan posisi tim evakuasi bangunan. Kepadatan penghuni dalam bangunan akan memiliki pengaruh langsung dengan peluang kemungkinan terjadinya kematian dalam bencana kebakaran [6]. Ada lima faktor dalam karakteristik bangunan yang akan mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses evakuasi, yaitu:

- Akses visual
- Jenis bangunan berdasarkan denah arsitektur
- Tata letak ruangan dan bangunan
- Adanya tanda atau petunjuk sepanjang jalur evakuasi.

4. Perilaku Penghuni

Pengetahuan penghuni tentang karakteristik bangunan dan pengalaman akan mempengaruhi perilaku penghuni dalam menyadari adanya bahaya kebakaran dan ketepatan para penghuni dalam melakukan proses evakuasi kebakaran. Ada tiga ciri-ciri perilaku penghuni saat melakukan proses evakuasi. Ciri-ciri pertama adalah pada saat terjadi bahaya kebakaran kebanyakan penghuni akan menjadi pengikut atau bergantung pada penghuni lain atau pemimpin mereka, karena pada saat adanya ciri-ciri kebakaran penghuni cenderung menunggu orang lain untuk mengambil tindakan. Ciri berikutnya adalah tingkat resistansi *stresor psikososial* penghuni, karena akan mempengaruhi kemampuan penghuni dalam memproses informasi. Terlalu banyak stres psikologis akan merusak proses kognitif. Ciri-ciri terakhir adalah kepercayaan diri penghuni tentang

kemampuan penghuni dapat berhasil keluar dari situasi bencana kebakaran [2].

B. Evakuasi

Evakuasi adalah tindakan memindahkan manusia dari suatu tempat yang terjadi bencana atau tempat yang mengancam keselamatan manusia ke tempat yang lebih aman. Ada dua faktor yang mempengaruhi total waktu evakuasi yaitu *Required Safety Evacuation Time* (RSET) dan *Available Safe Egress Time* (ASET) [6]. ASET adalah interval waktu antara terdeteksinya api hingga timbulnya bahaya yang berisiko. Untuk memastikan bahwa bangunan tersebut aman, penghuni dalam ruangan harus melakukan evakuasi untuk penyelamatan dalam jangka waktu tertentu yang disebut RSET [6]. *Required Safety Evacuation Time* (RSET) adalah total waktu yang terhadap seluruh pergerakan yang terjadi selama kebakaran dan total waktu untuk menuju pintu keluar. Lamanya waktu RSET akan bergantung pada jumlah penghuni total yang ada di dalam gedung [6]. Konsep ASET dan RSET ini akan mengarah pada timbulnya kriteria atau standar untuk perancangan sebuah bangunan agar pada saat terjadi bahaya kebakaran, penghuni dalam bangunan dapat melakukan evakuasi dengan waktu semaksimal dan seefisien mungkin. Setiap bangunan gedung memiliki denah dan properti yang berbeda akan mempengaruhi pada potensi beban kebakaran maka sebuah bangunan akan dikatakan rancang bangunan aman jika memiliki nilai $\text{ASET} > \text{RSET}$ [6].

C. Sistem Proteksi

Sistem proteksi kebakaran adalah sebuah sistem yang terdiri dari peralatan, kelengkapan, dan sarana yang terpasang pada bangunan yang bertujuan untuk melindungi bangunan dan lingkungannya terhadap bahaya kebakaran [7]. Sistem proteksi terbagi menjadi dua bagian, yaitu sistem proteksi aktif dan sistem proteksi pasif. Sistem proteksi ini dipilih berdasarkan tingkat bahaya kebakaran, tingkat racun asap kebakaran, luas ruangan, jarak evakuasi, waktu respons dari petugas pemadam kebakaran, dan sumber daya yang tersedia untuk tim pemadam kebakaran.

III. PEMBAHASAN

A. Tahapan Penelitian

Proses pengerjaan dan pengambilan data pada tugas akhir ini dilakukan di Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian PUPR yang terletak di Jalan Panyawangan, Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung. Proses tersebut dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Perancangan model bangunan sesuai dengan denah yang didapat dari Departemen Logistik Universitas Telkom.
2. Pemodelan simulasi kebakaran dengan perangkat lunak *Pyrosim*.
3. Mengolah data hasil simulasi kebakaran.
4. Pemodelan simulasi evakuasi bangunan dengan perangkat lunak *Pathfinder*.
5. Mengolah data hasil simulasi evakuasi kebakaran pada bangunan.

B. Pemodelan Simulasi Kebakaran

Berikut ini adalah tahapan pemodelan dengan perangkat lunak *Pyrosim*:

1. Pembuatan pemodelan 3D berdasarkan denah yang didapat dari Departemen Logistik Universitas Telkom.
2. Pembuatan skenario kebakaran
3. Input nilai kurva *Heat Rate Release*.
4. *Mesh*
5. Penempatan pengukur suhu dan visibilitas pada bangunan

Parameter yang selanjutnya dimasukkan adalah penempatan posisi alat pendeteksi suhu dan visibilitas yang diletakkan disepanjang koridor dan tangga dengan letak berada di 1,3 meter di atas lantai.

C. Pemodelan Simulasi Evakuasi

Simulasi evakuasi akan menggambarkan jumlah waktu Pada pengerjaan tugas akhir ini disimulasikan proses evakuasi dengan tiga skenario seperti berikut ini,

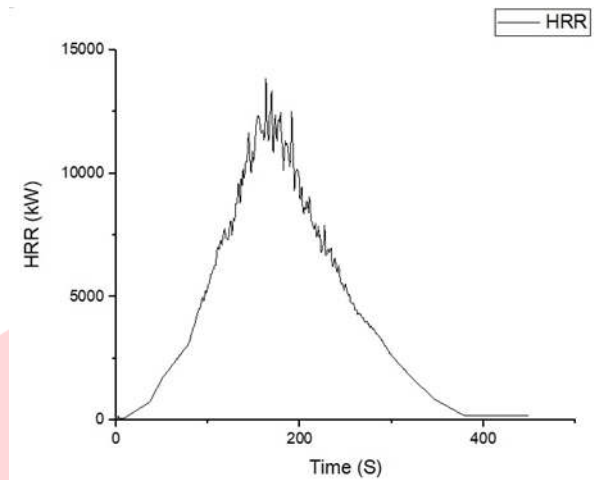
1. Skenario 1 mengasumsikan seluruh ruang kelas yang terdapat di lantai 2 hingga lantai 9 terisi penuh dengan total penghuni 5565 orang.
2. Skenario 2 mengasumsikan hanya tiga ruang kelas dari setiap lantai yang terisi dengan total penghuni 1400 orang.
3. Skenario 3 mengasumsikan hanya lima ruang kelas dari setiap lantai yang terisi dengan total penghuni 840 orang.

Dengan mengacu pada SNI 03-1746-2000 yang menetapkan bahwa setiap bangunan harus memiliki sarana jalan keluar yang tidak terhambat dari titik manapun dalam bangunan gedung ke jalan umum.. Berikut adalah denah jalur evakuasi pada yang berlaku dari lantai 2 hingga lantai 9 pada Gedung Tokong Nanas. Pemodelan evakuasi akan dilakukan dengan perangkat lunak *Pathfinder*.

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

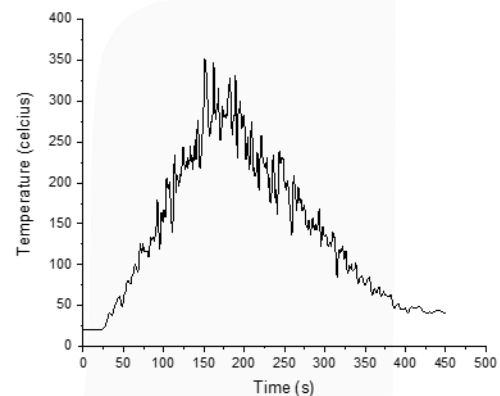
A. Hasil Simulasi Kebakaran

Berikut adalah grafik *Heat Rate Release per Unit Area* pada saat kebakaran di lantai 2 Gedung Tokong Nanas:



GAMBAR 4.1
Grafik HRRPUA hasil kebakaran

Produksi sampingan lainnya hasil simulasi adalah CO sebanyak 1,164 Kg/m³, CO₂ 1,83 Kg/m³, dan Asap 0,119 Kg/m³. Karena pola persebaran asap dan panas hasil kebakaran akan mempengaruhi proses evakuasi, maka dipasang beberapa parameter pengukur suhu dan tingkat kepekatan asap yang tersebar di dalam ruangan kebakaran dan jalur evakuasi pada bangunan.



GAMBAR 4.2
Grafik perubahan suhu pada saat terjadi kebakaran

Gambar 4.1 menunjukkan grafik perubahan suhu pada saat terjadi kebakaran di lantai dua Gedung Tokong Nanas. Grafik tersebut menjelaskan bahwa suhu pada bangunan terjadi kebakaran akan berubah seiring dengan berjalannya waktu. Suhu tertinggi berada pada detik 151 dengan suhu 352°C. Terjadi perubahan kadar karbon dioksida dan karbon monoksida pada ruangan. Kadar tertinggi berada di detik 179 dengan kadar CO₂ sebanyak 0,000279 dan karbon monoksida pada ruangan dengan kadar tertinggi berada di detik 150 dengan kadar karbon monoksida sebanyak 0,0000058. Berdasarkan tiga grafik yang sudah dijelaskan, waktu ASET bangunan yang paling aman adalah 60 detik pertama dengan kondisi lingkungan yang masih bisa ditoleransi oleh manusia.

B. Hasil Simulasi Evakuasi

1. Skenario 1

Pada skenario ini diterapkan seluruh ruang kelas pada lantai dua hingga lantai sembilan terisi penuh. Satu ruang kelas terisi maksimal 35 orang dan total seluruh penghuni pada skenario ini adalah 5565 penghuni. Pergerakan pertama terjadi pada detik ke 22 dan total waktu evakuasi 2565 detik atau 43 menit.

2. Skenario 2

Skenario ini mengasumsikan ruang kelas yang terisi setiap lantai hanya lima ruangan dengan total penghuni pada skenario ini adalah 1085 penghuni. Pergerakan pertama terjadi pada detik ke 22 dan total waktu evakuasi adalah 710 detik.

3. Skenario 3

Skenario ini menerapkan ruang kelas yang digunakan di setiap lantai adalah tiga ruang kelas dengan total penghuni adalah 840 orang. Pergerakan pertama terjadi pada detik ke 22 dan total waktu evakuasi adalah 563 detik.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi evakuasi tiga skenario didapatkan evakuasi berupa total waktu evakuasi dan jumlah penghuni yang berhasil dievakuasi pada waktu tertentu. Pengerjaan tugas akhir ini juga mendapatkan gambaran titik-titik lokasi di Gedung Tokong Nanas yang memiliki densitas tinggi saat evakuasi berlangsung. Secara terperinci didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut,

1. Kebakaran disimulasikan terjadi pada KU3.02.20 dengan paling berat berada di tangga bagian tenggara Gedung Tokong Nanas dan penjalaran asap menuju bagian atas bangunan karena asap cenderung bergerak keatas karena massa jenis yang berbeda dengan udara.
2. *Required Safe Egress Time* (RSET) untuk jumlah penghuni 5565 orang adalah 42 menit, untuk jumlah penghuni 1085 orang dibutuhkan waktu selama 11 menit, dan untuk jumlah penghuni 840 orang dibutuhkan waktu selama 9 menit dengan kecepatan pergerakan penghuni 1,19 m/s
3. Pintu keluar 1 dan pintu keluar 2 merupakan pintu utama yang memiliki beban evakuasi penghuni sangat banyak dan tangga memiliki tingkat kepadatan tertinggi pada saat proses evakuasi.
4. Gedung Tokong Nanas terdiri dari 10 lantai dimana pergerakan evakuasi dilakukan secara horizontal (melintas koridor) dan vertikal (melintas tangga). Waktu tempuh maksimal yang diperlukan untuk seluruh penghuni mengevakuasi diri dari bangunan adalah selama 26 menit.
5. Sistem proteksi aktif yang digunakan pada bangunan adalah APAR yang disimpan di dua titik pada

koridor lantai dua sampai lantai sembilan dan *sprinkler* yang diletakkan di seluruh ruang pada bangunan.

6. Ukuran geometri Gedung Tokong Nanas sudah memenuhi Standar Nasional Indonesia No. 03-1746-2000.

REFERENSI

- [1] I. H. B. d. V. J. G. P. Margrethe Kobes, "Building Safety and Human Behavior in Fire: A Literature Review," *Fire Safety Journal*, pp. 1-11, 2010.
- [2] International Labour Office, Manajemen Resiko Kebakaran, Jakarta: Kantor Perburuhan Internasional.
- [3] National Fire Protection Association, NFPA 10 Standard for Portable Fire Extinguishers, 2018.
- [4] S. Poon, "A Dynamic Approach to ASET/RSET Assessment in Performanve Fire Design," *Procedia Engineering*, pp. 173-181, 2014.
- [5] Candy, "A Brief Review on The Time Line Concept in Evacuation," *International Journal on Architectural Science*, pp. 1-13, 2006.
- [6] D. P. Umum, "Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran pada Bangunan Gedung dan Lingkungan". Indonesia Patent 26/PRT/M/2008, 30 Desember 2008.
- [7] E. D. Kuligowski, "Modeling Human Behavior during Building Fires," 2008.
- [8] Undang-Undang No. 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung.
- [9] Standar Nasional Indonesia 03-1746-2000.
- [10] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 36 Tahun 2005 Tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang No. 28 Tahun 2002 Mengenai Bangunan Gedung.
- [11] Peraturan Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta No. 8 Tahun 2008 Tentang Pencegahan dan Penanggulangan Bahaya Kebakaran.
- [12] Pathfinder Manual User, Pathfinder User Guide, Manhattan: Thunderhead Engineering, 2007.
- [13] Keputusan Menteri Negara Tenaga Kerja Republik Indonesia No. KEP.186/MEN/1999 Tentang Unit Penanggulangan Kebakaran di Tempat Kerja.