

Ragam Metode Pemodelan Perilaku Evakuasi Kebakaran di dalam Bangunan

Dessy Syarlianti¹, Himasari Hanan²

¹ Program Doktor Arsitektur, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung.

² Kelompok Keahlian Teori, Sejarah dan Kritik Arsitektur, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung.

Email korespondensi : dessysyarlianti@gmail.com

Diterima: 22-10-2021

Direview: 09-11-2021

Direvisi: 09-12-2021

Disetujui: 14-12-2021

ABSTRAK. Desain keselamatan bangunan berkaitan erat dengan kemudahan dan efektifitas evakuasi. Salah satu aspek yang sangat berpengaruh adalah perilaku evakuasi manusia. Dalam konteks kebakaran bangunan, model simulasi komputasi maupun matematis telah banyak dikembangkan untuk memahami fenomena perilaku evakuasi yang terjadi. Namun saat ini, sangat jarang dilakukan tinjauan yang komprehensif terhadap perkembangan metode pemodelan tersebut serta potensi penerapan di Indonesia sendiri. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji beberapa metode pemodelan perilaku evakuasi kebakaran di bangunan untuk menemukan potensi dan hambatan penerapannya, terutama dalam konteks Indonesia melalui kajian literatur. Di Indonesia sendiri penelitian arsitektural terkait dengan perilaku evakuasi kebakaran masih sangat minim. Sebagian besar berfokus pada kesesuaian aturan preskriptif, penempatan alat pemadam aktif, serta instalasi kompartemen dan sistem pemadam pasif. Aspek potensial untuk diikutsertakan dalam model perilaku evakuasi adalah sosial budaya Indonesia mengenai perbedaan dalam memahami dan memperoleh informasi lingkungan.

Kata kunci: perilaku evakuasi, model simulasi, kebakaran, arsitektur

ABSTRACT. *Building safety design relates to the ease and effectiveness of evacuation. One of the most influential aspects is human behavior. In building fires, many computational and mathematical simulation models have been developed to understand the phenomenon of behavior that occurs. However, it is rare to discuss a comprehensive review of the development of the modeling method and its potential application in Indonesia. The purpose of this study is to examine several methods of modeling fire evacuation behavior in buildings to find potential and obstacles to their application, especially in the Indonesian context through literature review. In Indonesia, architectural research related to fire evacuation behavior is scarce; most focus on compliance with prescriptive rules, extinguishers placement, and installation of compartments and passive extinguishing systems. The potential aspect to be included in the evacuation behavior model is the social culture of Indonesia regarding differences in perceiving and gaining environmental information.*

Keywords: *evacuation behavior, simulation model, fire, architecture*

PENDAHULUAN

Ancaman bencana kebakaran terhadap keselamatan pengguna bangunan tercatat sangat tinggi. Angka kebakaran di beberapa negara industri (U.S. Fire Administration, 2011) seperti di Amerika, Irlandia, Denmark, Republik Czech, Norwegia, Polandia, Jepang, Hungaria, Yunani, dan Finlandia, kematian akibat kebakaran masih

berada di atas angka rata-rata. Kondisi kebakaran bangunan di Indonesia juga tidak jauh berbeda. Di Jakarta sepanjang tahun 2016, jumlah peristiwa kebakaran mencapai 1.139 kasus, turun dibandingkan dengan sepanjang tahun 2015 yang mencapai 1.582 kasus. Dari sebanyak 1.139 kasus tersebut, kasus yang terbanyak diakibatkan oleh korsleting listrik, yaitu sebanyak 836 kasus, dengan korban tewas 20 orang dan kerugian materi

sebanyak 212 miliar US *dollar*, dengan bangunan menjadi objek terbanyak (Sukarno, 2016). Bandung juga menunjukkan angka kebakaran sebanyak 162 kejadian dengan 2 orang meninggal dunia dan 4 orang luka-luka di tahun 2014, meningkat dari kebakaran di tahun 2013 sebanyak 131 kasus (Ramadhan, 2015).

Dalam desain bangunan, upaya meningkatkan kinerja keselamatan jiwa terus dilakukan. Salah satunya dengan mengembangkan metode untuk memprediksi perilaku evakuasi manusia di dalam kebakaran. Perilaku manusia menjadi hal yang penting karena berkaitan langsung dengan waktu evakuasi yang diperlukan. Banyak metode dikembangkan untuk memprediksi perilaku ini, baik secara simulasi komputasi maupun menggunakan algoritma matematis, namun sedikit yang membahas aspek yang melatarbelakangi terjadinya fenomena perilaku evakuasi tersebut.

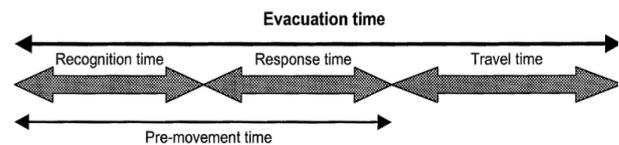
Di Indonesia sendiri, penelitian arsitektural terkait dengan evakuasi keselamatan kebakaran masih minim. Sebagian berfokus pada kesesuaian dengan aturan preskriptif (Sukawi, Hardiman, Aini DA, & Amany, 2016), penempatan alat pemadaman aktif, serta instalasi kompartemen dan sistem pemadaman pasif. Penelitian bidang informatika juga telah menguji metode simulasi evakuasi, seperti Agent Based Modelling and Simulation (Vianandha, Jondri, & Arifianto, 2015) dalam konteks bangunan sederhana. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud mengkaji literatur mengenai metode pemodelan perilaku evakuasi kebakaran bangunan yang telah berkembang saat ini, sehingga diharapkan dapat mengetahui celah dalam metode yang sudah ada dari sisi arsitektural sekaligus mencari potensi dan hambatan penerapannya dalam penelitian evakuasi kebakaran, khususnya dalam konteks Indonesia.

PERILAKU EVAKUASI KEBAKARAN DI DALAM BANGUNAN

Fase Evakuasi Kebakaran Bangunan

Dalam model evakuasi terdapat dua fase waktu signifikan yang mempengaruhi kinerja. Fase pertama adalah yang mendahului gerakan menuju rute evakuasi (Billington, Ferguson, & Copping,

2002) yaitu berupa fase *premovement* yang terdiri dari fase pengenalan dan fase respon (gambar 1) dan fase *movement* yang melibatkan pergerakan. Selama fase pengenalan, tanda peringatan harus dapat dipersepsikan (mendengar keributan, melihat api, mencium asap), lalu kemudian diinterpretasikan (memutuskan bahwa isyarat bahaya adalah jelas dan tidak ambigu, bukan telepon, kerlap-kerlip lampu atau roti yang hangus) dan pada akhir fase pengenalan, penghuni akan tahu bahwa ada bahaya kebakaran.



Gambar 1. Garis Waktu Evakuasi
Sumber : Billington et al., 2002

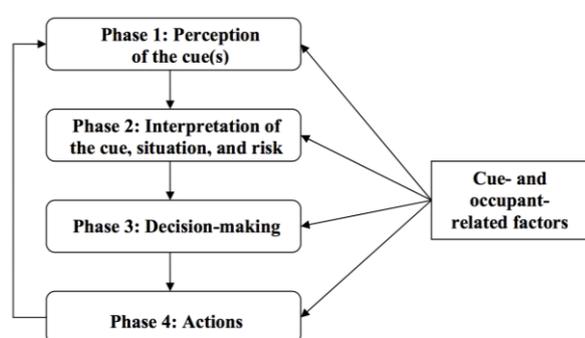
Fase *premovement* selanjutnya adalah fase respon dimana melibatkan pencarian informasi. Sebelum memutuskan untuk meninggalkan daerah yang tidak aman, individu dapat mengumpulkan barang-barang, mematikan peralatan, mencari teman atau kerabat yang berada sama di dalam bangunan. Sedangkan fase *movement* dimulai ketika keputusan telah dibuat untuk pergi menuju eksit atau tempat yang aman.

Penundaan respon seringkali terjadi pada kedua fase ini. Pada fase *premovement* penundaan terjadi terkait dengan respon penghuni terhadap alarm, ketiadaan sistem peringatan, dan aspek lain yang membuat penghuni tidak segera mengambil keputusan bergerak. Sedangkan waktu penundaan pada fase *movement* terkait dengan aspek penundaan penghuni saat bergerak menuju ruang yang dinilai aman, terutama terjadi jika penghuni tidak familiar terhadap rute evakuasi bangunan, atau desain rute evakuasi yang membingungkan, penandaan rute evakuasi yang tidak optimal, pengaruh dari perilaku penghuni yang lain dan sebagainya.

Perilaku Individu sebagai Hasil Proses Pengambilan Keputusan

Dalam bidang ilmu sosial, dinyatakan bahwa respon atau aksi manusia merupakan hasil dari

suatu proses. Tindakan individu seringkali merupakan hasil proses pengambilan keputusan, daripada berdasarkan kesempatan acak atau hasil langsung dari perubahan lingkungan (Kuligowski, 2008). Dalam teori bencana dan kebakaran (Perry & Green, 1982; Sime, 1985) dikemukakan bahwa individu terikat pada fase sekuens pada tiap proses perilaku. Dengan kata lain, dalam kebakaran bangunan, interpretasi terhadap tanda bahaya dimungkinkan jika isyarat tersebut diterima dengan baik. Penghuni akan memutuskan pada tipe aksi tertentu jika mereka menerima isyarat bahaya dan membentuk interpretasi akurat mengenai insiden dan resiko seperti yang terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Model Konseptual Proses Perilaku dalam Kebakaran Bangunan
Sumber : Kuligowski, 2008

Tiap proses perilaku evakuasi dimulai dengan isyarat baru dan informasi dari lingkungan fisik dan sosial. Diperlukan isyarat atau petunjuk lingkungan untuk dipersepsikan, diinterpretasikan dan kemudian keputusan dibuat dengan tindakan (termasuk tidak bertindak). Selama evakuasi, individu mengulangi proses ini beberapa kali karena mereka terikat dalam aktifitas yang beragam baik sebelum dan sesudah pergerakan evakuasi. (Kuligowski & Peacock, 2005) pergerakan individu juga dipengaruhi oleh tujuan global (eksit atau area pengungsi) serta tujuan lokal (eksit ruangan, sudut, dan lain-lain). Tujuan lokal ini akan berubah secara dinamis sesuai dengan kondisi lingkungan dan kerumunan.

Perilaku Kerumunan dan Pengaruh Aspek Sosial

Perilaku kerumunan dalam evakuasi kebakaran merupakan pola perilaku yang terjadi ketika

individu berinteraksi dengan individu lain dalam kondisi lingkungan yang sama sehingga membentuk kelompok. (I Von Sivers et al., 2016) Dua teori yang menonjol dalam perilaku ini adalah teori identitas sosial dan teori *self-categorisation*. Sesuai dengan teori identitas sosial, seseorang memiliki banyak identitas sosial yang berbeda dari identitasnya sebagai individu karena identitas tersebut mengacu pada identitas seseorang sebagai bagian dari kelompok sosial. Sedangkan teori *self-categorisation* mengacu pada proses di mana seseorang mengkategorikan diri sebagai individu atau anggota kelompok. Hal ini menunjukkan bahwa perilaku kolektif terjadi melalui proses depersonalisasi, di mana individu menstereotipkan diri sendiri sesuai dengan kelompok mereka. Hal ini terjadi melalui transformasi identitas seseorang dari diri pribadi ke diri secara kolektif. Kategorisasi diri ini yang memungkinkan terbentuknya perilaku kolektif. Oleh karenanya, ini dapat menjelaskan perbedaan perilaku antara kerumunan fisik individu (yang berada di lokasi yang sama bersama-sama) dan kerumunan psikologis (di mana orang-orang di dalam kerumunan bertindak bersama-sama).

Efek dari identitas sosial pada perilaku manusia sangat penting untuk memahami model kerumunan yang bertujuan mensimulasikan kerumunan secara psikologis. Beberapa riset menunjukkan identitas sosial yang dibagi diantara anggota kerumunan dapat meningkatkan prevalensi perilaku suportif diantara orang dalam evakuasi gawat darurat (Drury, Novelli, & Stott, 2013), identitas sosial juga merupakan kunci untuk memahami koordinasi perilaku mengantri, yang menunjukkan bahwa masyarakat lebih cenderung untuk berpartisipasi mengantri jika mereka mengidentifikasi orang yang mengatur situasi (Rubin, Williams, Carter, Drury, & Amlo, 2014).

PERKEMBANGAN METODE PEMODELAN PERILAKU EVAKUASI

Penelitian perilaku evakuasi kebakaran bangunan telah banyak membahas mengenai pengambilan keputusan penghuni saat evakuasi. Hal ini terkait dengan pilihan rute evakuasi maupun titik eksit yang dapat dilakukan secara individual maupun kerumunan yang dinamis. Penelitian perilaku

evakuasi kebakaran juga cenderung mengamati pengaruh sosial terhadap pengambilan keputusan tersebut. Kritik dari para ilmuwan sosial (Isabella Von Sivers, Templeton, Köster, Drury, & Philippides, 2014) bahwa model simulasi komputer dari pergerakan pejalan kaki saat evakuasi diperlakukan hanya sebagai kumpulan individu tanpa ada interaksi sosial, dimana dinamisnya kerumunan dianalogikan sebagai kumpulan partikel dan tidak mempertimbangkan fenomena sosial seperti proses berkerumun. Dalam proses berkerumun, individu seharusnya berbagi identitas sosial yang akan mempengaruhi proses kategorisasi kerumunan serta perilaku seseorang dalam situasi evakuasi.

Terkait dengan pengaruh sosial, beberapa penelitian melakukan simulasi pengambilan keputusan secara hipotetikal (Sun, de Vries, & Zhao, 2010; Vani & Idicula, 2013), eksperimen lapangan, dan juga mulai berkembang usaha untuk menjadikan model hipotetikal agar semakin mendekati kondisi nyata, seperti yang dilakukan Haghani (Haghani & Sarvi, 2016) seperti terlihat pada gambar 3. Adanya usaha ini mulai menggeser esensi penelitian perilaku evakuasi dari yang melihat pergerakan secara fisik (pola pergerakan, pilihan titik keluar, pilihan rute evakuasi) kepada latar belakang yang mendasari pilihan tersebut. Hal ini merupakan celah pada penelitian perilaku evakuasi yang memang belum banyak dikembangkan. Dengan memahami logika pergerakan atau pilihan penghuni, hal ini dapat memperkuat landasan desain keselamatan bangunan (Groner, 2016). Shields (Shields & Proulx, 2000) juga menyatakan bahwa hal yang belum dikaji saat ini adalah bagaimana arsitektur dan penggunaan spasial dapat mempengaruhi pilihan rute eksit tersebut. Jika alasan perilaku tersebut tidak dipahami, maka hal itu tidak dapat diprediksi dan model yang tidak menggunakan landasan tersebut kurang dapat diandalkan.

Sebuah model evakuasi bangunan bekerja dengan cara mengukur kinerja evakuasi melalui perhitungan waktu yang dibutuhkan penghuni untuk menuju ke tempat yang aman. Untuk membuat perhitungan ini, model mencoba mensimulasikan dua hal; 1) tindakan yang diambil orang; dan 2) berapa lama waktu yang dibutuhkan

untuk melakukan setiap tindakan. Selain waktu evakuasi bangunan total, model evakuasi dapat memberikan waktu pengosongan ruang atau lokasi titik kemacetan di seluruh bangunan. Namun, karena kurangnya data dan teori tentang perilaku / tindakan penghuni, model evakuasi secara signifikan menyederhanakan proses evakuasi dan berfokus pada waktu yang dibutuhkan untuk melakukan satu jenis tindakan yakni pergerakan penghuni dari posisi awal mereka ke luar dari bangunan. Dengan kata lain, model evakuasi saat ini berfokus pada gerakan evakuasi sengaja dari penghuni dan tidak mensimulasikan perilaku tambahan yang dapat menunda evakuasi ke keselamatan.

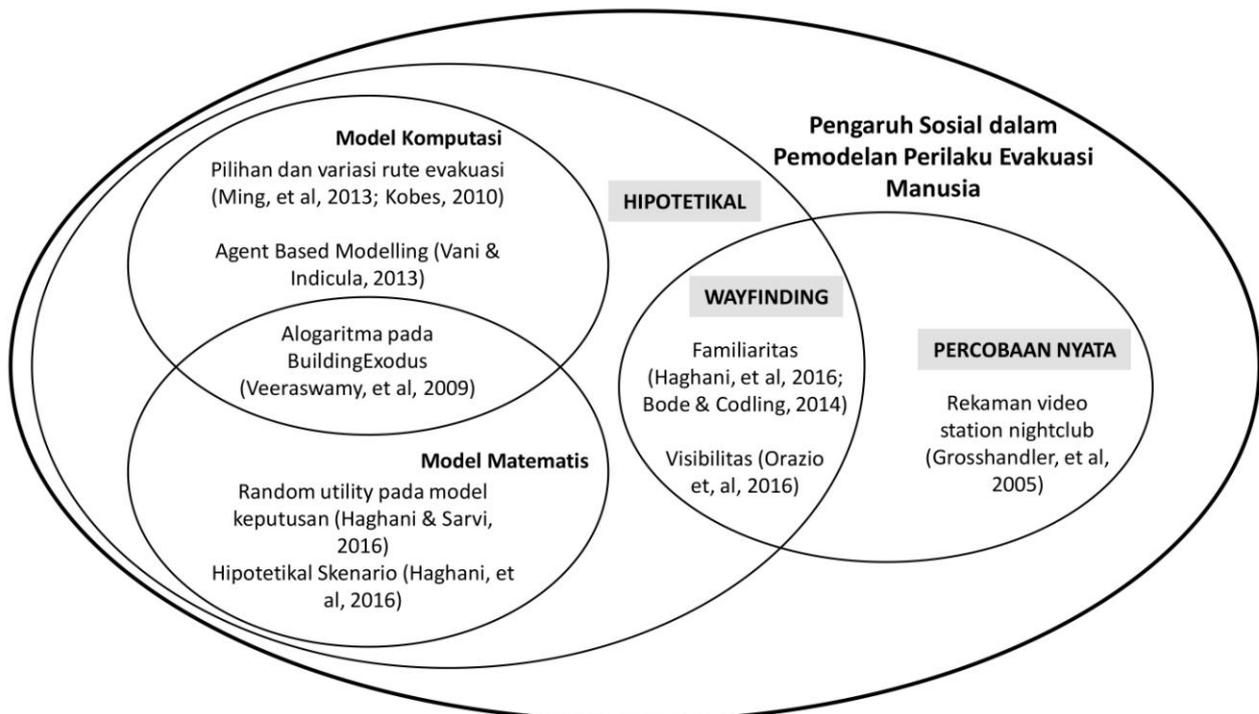
Dalam model yang dapat menjelaskan tindakan penghuni, terdapat dua metode utama yang digunakan untuk mensimulasikan perilaku penghuni selama evakuasi bangunan berdasarkan pemberian waktu tunda oleh *user* (*pengguna simulasi*). Metode yang pertama adalah pengguna menetapkan jangka waktu penundaan (misalnya, periode waktu tertentu, distribusi waktu, dll.) kepada individu atau kelompok di gedung simulasi untuk kemudian memperhitungkan tindakan yang mungkin mereka lakukan selama evakuasi (misalnya, Simulex (Thompson & Marchant, 1995), GridFlow (Purser & Bensilum, 2001). Dengan menggunakan metode ini, penghuni yang disimulasikan tetap diam di posisi awal mereka untuk jangka waktu tertentu dan kemudian memulai gerakan evakuasi purposif ketika periode ini berakhir. Metode kedua adalah *user* menetapkan rencana perilaku yang spesifik (misalnya, urutan tindakan) atau tindakan spesifik terhadap individu atau kelompok (misalnya buildingEXODUS (Gwynne, Galea, Lawrence, & Filippidis, 2001). Urutan tindakan dapat digunakan untuk mensimulasikan perilaku yang dapat mengganggu pergerakan terus menerus, seperti mencari informasi, meninggalkan tangga, membantu penghuni lainnya, dan kembali ke lokasi awal untuk mengambil barang pribadi atau pekerjaan. Setiap tindakan yang dilakukan diberikan waktu tertentu untuk setiap penghuni. Contoh dari rencana perjalanan tingkah laku adalah sebagai berikut: Penghuni A ditugaskan sebagai perilaku "pencarian dan penyelamatan". Untuk melakukan misi pencarian dan

penyelamatan, model tersebut mensimulasikan bahwa penghuni bergerak dari posisi semula A (*Occupant A*) ke Point B (ruangan lain di gedung tempat penyelamatan berlangsung), menunggu periode waktu yang ditentukan di Point B, Lalu mulailah gerakan evakuasi secara purposif dari Titik B ke tangga.

Kedua metode simulasi perilaku selama evakuasi ini secara signifikan menyederhanakan proses perilaku yang terjadi selama evakuasi. Pada metode pertama, menetapkan waktu tunda, penekanan ditempatkan pada waktu tunda itu sendiri daripada keputusan, tindakan, dan interaksi yang dilakukan oleh penghuni sebagai respons terhadap kondisi di dalam bangunan. Metode kedua, menugaskan rencana tingkah laku, mensimulasikan keputusan dan tindakan yang dilakukan sebagai tanggapan terhadap kondisi tertentu selama evakuasi, namun, keseluruhan perilaku atau rencana perilaku didefinisikan oleh pengguna sebelum simulasi dimulai (bukan yang diperkirakan oleh model) selain itu, interaksi antara penghuni simulasi lainnya juga disederhanakan atau tidak ada.

Terdapat beberapa permasalahan dengan pendekatan yang digunakan oleh memodelkan perilaku saat evakuasi. Pertama, tidak ada perilaku yang benar-benar diprediksi oleh model evakuasi karena informasi perilaku diberikan seperti sebelumnya, asumsi yang telah diprogram sebelumnya. Perilaku ditentukan oleh pengguna atau secara probabilistik oleh model berdasarkan informasi yang ditentukan. Kedua, pengguna menentukan tindakan yang akan terjadi, atau yang diasumsikan mungkin terjadi, di setiap skenario kebakaran. Tidak ada konsistensi yang terkait dengan rumusan perilaku. Metode ini bergantung sepenuhnya pada keahlian pengguna dalam memahami perilaku penghuni dalam membangun api.

Hal ini adalah harapan pengguna yang tidak realistis karena tidak ada panduan, kumpulan data komprehensif, atau teori yang diberikan kepada pengguna tentang apa yang sebenarnya dilakukan orang saat melakukan evakuasi. Berikut akan dibahas lebih lanjut berdasarkan dua metode pemodelannya, yaitu model algoritma matematis dan model simulasi komputasi.



Gambar 3. Pemetaan Beberapa Literatur Mengenai Pengaruh Sosial dalam Pengambilan Keputusan Evakuasi Kebakaran dalam Bangunan
Sumber : Analisis Penulis, 2017

Model Matematis

Model matematis adalah model yang menggunakan perhitungan rumus matematis tertentu untuk melakukan prediksi pemilihan rute atau titik keluar manusia dalam evakuasi kebakaran. Beberapa model (Haghani, Sarvi, Shahhoseini, & Boltes, 2016; Lovas, 1998) melakukan observasi terlebih dahulu pada suatu eksperimen untuk menemukan suatu fenomena, yang kemudian diubah menjadi algoritma matematis yang dapat digunakan untuk memprediksi perilaku pada kejadian sebenarnya. Misal yang dilakukan Lovas (Lovas, 1998), yang menguji beberapa skenario evakuasi pada labirin di Hampton Court, untuk menghitung kemungkinan terjadinya pemilihan rute tertentu dalam proses evakuasi. Model Lovas adalah $pk(i,j,X)$ dimana sebagai seseorang (k), dengan atribut personalnya, akan bergerak dari titik vi menuju titik vi ketika semua sistem dalam keadaan X .

Dari penelitiannya didapatkan beberapa skenario seperti *walk correctly, always turn left, random choice, follow planned paths, directional choice, shortest path*, dan *frequently used path* didapatkan dari pengamatan dan asumsi bahwa seseorang dapat digambarkan berdasarkan serangkaian atribut serta memilih rutenya berdasarkan kondisi di tiap titik atau persimpangan. Kelemahan penelitian ini adalah terdapat penyederhanaan beberapa atribut seperti waktu respon adalah nol, artinya partisipan dianggap langsung bereaksi ketika terdapat tanda bahaya, lalu penghuni juga dianggap memiliki kecepatan berjalan yang sama (1.5m/s), model ini juga tidak menyertakan lingkungan sosial dimana keputusan seringkali diambil berdasarkan interaksi antar individu sebagai kelompok.

Model Simulasi Komputasi

Model ini merupakan metode yang banyak digunakan dalam penelitian perilaku evakuasi kebakaran bangunan saat ini. Kelebihan dari metode ini adalah fleksibilitas fitur waktu, sehingga perilaku dapat diamati secara efektif dari berbagai sudut pandang waktu yang diinginkan. Menurut Kuligowski dan Gwyne (Kuligowski & Gwyne,

2010), terdapat lebih dari 40 model evakuasi yang tersedia untuk simulasi evakuasi dalam berbagai kondisi, yang dapat disederhanakan menjadi tiga kelompok besar, yaitu;

1. Perilaku yang didefinisikan secara keseluruhan oleh pengguna;

Dalam teknik ini, pengguna (*user*) mendefinisikan perilaku sebelum simulasi dimulai untuk individu atau kelompok di dalam gedung. Pengguna mengasumsikan bahwa perilaku tersebut kemungkinan akan terjadi (atau bahkan itu pasti akan terjadi) pada beberapa titik selama simulasi. Melalui teknik ini model evakuasi digunakan untuk menilai secara spesifik konsekuensi tindakan tertentu daripada memprediksi apakah tindakan akan terjadi sama sekali. Contoh perilaku spasial yang didefinisikan adalah; 1) pengguna dapat menetapkan individu atau grup tertentu dengan kecepatan gerakan yang kurang maksimal (misalnya EXIT89d, STEPS, ASERI) untuk mensimulasikan orang yang lebih lambat; 2) pengguna dapat menetapkan individu atau kelompok tertentu rute dari titik "A" menunjuk "B" di gedung untuk mensimulasikan pilihan rute di lantai dan/ atau melalui bangunan (misalnya, Simulex, GridFlow, EXIT89); dan 3) pengguna dapat menetapkan rencana perjalanan tertentu (urutan tindakan) atau sebuah tindakan spesifik kepada individu atau grup (mis., CRISP, buildingEXODUS). Pengguna juga dapat menentukan perilaku implisit, yaitu menghitung tindakan yang tidak "fisik" dilakukan oleh penghuni yang disimulasikan. Contoh perilaku implisit yang didefinisikan adalah; 1) pengguna menetapkan periode penundaan / penundaan waktu kepada individu atau kelompok untuk memperhitungkan tindakan yang mungkin mereka lakukan selama periode evakuasi atau evakuasi kebakaran bangunan (misalnya, Simulex, EXIT89, GridFlow); dan 2) pengguna mendefinisikan area tertentu dari tangga yang diblokir untuk jangka waktu tertentu agar mensimulasikan arus balik individu (Misalnya, EXIT89).

Persoalan terkait pendekatan pemodelan perilaku ini adalah tidak ada perilaku yang disimulasikan tanpa masukan dari pengguna. Perilaku yang disimulasikan dalam skenario

sebenarnya ditentukan oleh pengguna daripada yang diperkirakan oleh model. Oleh karena itu, pengguna diharuskan memiliki keahlian yang cukup untuk menentukan berbagai tindakan yang akan terjadi dalam skenario, dan dapat mengasumsikan bahwa tindakan ini terjadi bahkan sebelum memahami dinamika skenario lainnya yang terjadi saat simulasi dilakukan.

2. Perilaku yang disimulasikan berdasarkan kondisi khusus;

Cara kedua adalah mensimulasikan perilaku yang diketahui saat penghuni menghadapi kondisi tertentu. Teknik ini didasarkan pada pernyataan "jika, kemudian"; Artinya jika penghuni bertemu dengan X, maka dia atau kelompoknya akan melakukan Y. Bahkan saat menggunakan teknik ini, pengguna masih terlibat dalam memungkinkan kemampuan pernyataan "jika, kemudian" atau bahkan mengidentifikasi kondisi yang mungkin (Probabilistik) atau akan (secara deterministik) mendorong tindakan terjadi. Dalam teknik ini, baik model evakuasi maupun pengguna berperan dalam mensimulasikan perilaku.

Dalam teknik ini, ada tindakan simulasi yang dipengaruhi oleh bangunan, isyarat lingkungan (yaitu kepadatan asap dan tinggi lapisan), dan / atau tindakan individu / kelompok simulasi lainnya. Contoh tindakan yang dipengaruhi oleh bangunan tersebut misalnya: jika rute keluar mudah dilalui dan / atau jika jalurnya mudah diingat, maka penghuni kemungkinan akan melintasi rute ini menuju keselamatan (misalnya BGRAF), dibandingkan dengan rute lain di dalam gedung. Sedangkan contoh tindakan yang dipengaruhi oleh penghuni lain di dalam gedung, misalnya; 1) jika ada ambang batas spesifik orang yang menunggu di pintu keluar saat ini, maka penghuni akan mengarahkan kembali ke rute keluar yang lain (misalnya, BGRAF, EXITT); 2) jika penghuni diidentifikasi sebagai tidur atau cacat (Oleh pengguna), dia akan mengikuti gerakan yang dilakukan oleh orang-orang berbadan sehat (misalnya EXITT); dan 3) jika penghuni "target" di ruangan saat ini telah diberi peringatan (atau diselamatkan), maka penghuni Akan memperingatkan sisa rumah tangga (tempat

tujuan sama dengan ruangan dengan penghuni paling senior) (misalnya, CRISP menawarkan beberapa kondisi dan tindakan lain untuk memilih setiap skenario).

Pendekatan kedua ini memiliki kesamaan persoalan seperti pada yang pertama. Pengguna model diharuskan untuk memungkinkan kemampuan pernyataan "jika, lalu" atau mengidentifikasi kondisi yang akan mendorong tindakan ini terjadi, yang berarti bahwa perilaku tidak diprediksi oleh model, namun sekali lagi ditentukan oleh pengguna. Hal ini membutuhkan tingkat keahlian yang tinggi dari pengguna. Selain itu, teknik ini tidak memperhitungkan semua kemungkinan tindakan yang dapat terjadi dalam evakuasi bangunan, melainkan hanya ditentukan secara bersyarat.

3. Perilaku yang disimulasikan berdasarkan *multiple condition*.

Perilaku juga bisa disimulasikan berdasarkan beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja evakuasi. Meskipun tindakan simulasi serupa dengan yang ada di pendekatan 2 (misal memilih rute, memutar balik, membantu orang lain, dan menutup pintu), tindakan ini dipilih secara individual untuk penghuni berdasarkan serangkaian faktor selama evakuasi. Faktor mencakup informasi yang diketahui penghuni sebelum kebakaran, informasi yang dikumpulkan selama kejadian berlangsung, dan apa yang orang lain ketahui di gedung. Peran pengguna dalam teknik ini melibatkan pemberian nilai ambang penghuni untuk banyak faktor, seperti faktor berkerumun, pengetahuan awal tentang jalan keluar terbaik (misalnya BFIREs), toleransi asap, dan tingkat preferensi, seperti preferensi untuk menunggu, berkerumun, dan lain-lain.

Terdapat beberapa contoh perilaku yang dipengaruhi oleh banyak faktor sekaligus. Pilihan rute keluar, misalnya, dapat dibuat berdasarkan konsensus penghuni dalam ruang tertentu di bangunan. Pilihan ini terdiri dari fitur penghuni yang dipengaruhi oleh penghuni lain yang menempati ruang dengannya, atau penghuni lain yang mengetahui informasi yang

tidak diketahui penghuni ini (misalnya, jalan keluar terbaik dari gedung). Selain itu juga, penghuni dapat memilih pilihan rute keluar (misalnya, *buildEXODUS*) berdasarkan berbagai pengaruh yang berbeda, seperti ada tidaknya penghuni lain yang berada di dekatnya, sifat informasi tentang jalan keluar yang disediakan oleh penghuni lain, identitas atau peran penghuni lain yang berbagi informasi, dan apakah pintu keluar menyediakan keuntungan (jarak, kondisi lingkungan) dan lain-lain.

Dalam pendekatan yang ketiga ini, perilaku termasuk dalam model berdasarkan beberapa faktor. Beberapa tindakan disimulasikan sebagai hasil dari model proses multi-tahap, sedangkan yang lainnya disimulasikan sebagai akibat dari berbagai pengaruh yang diprioritaskan sehingga tindakan segera dilakukan. Studi kebakaran menunjukkan bahwa perilaku realistis adalah hasil dari banyak faktor daripada hubungan biner. Seperti teknik lainnya, bagaimanapun juga pengguna diharuskan memberikan nilai ambang untuk faktor-faktor yang berpengaruh dan/ atau memungkinkan algoritma perilaku berjalan selama simulasi, yang membatasi kemampuan prediksi.

PENINTEGRASIAN ASPEK SOSIAL DALAM METODE PEMODELAN

Dalam berbagai metode pemodelan perilaku evakuasi tersebut, terdapat beberapa kritik mengenai reliabilitas terhadap model. (Kuligowski & Gwynne, 2010) Kuligowski mencatat beberapa fakta perilaku evakuasi yang mendasar adalah (1) Naluri pertama seseorang adalah merasa aman di lingkungannya; (2) Orang akan terlibat dalam tindakan pencarian informasi; (3) Orang bertindak rasional dan altruistik; (4) Orang-orang cenderung terlibat dalam kegiatan persiapan sebelum memulai respon evakuasi mereka; dan (5) orang bergerak menuju lingkungan familiar, namun tidak terdapat pemahaman mengapa perilaku tersebut hadir di dalam setting tertentu.

(Shields dan Proulx, 2000) juga menyatakan "Meskipun perilaku 'pengelompokan' telah diidentifikasi dengan jenis bangunan tertentu, yaitu di gedung perkantoran, apa yang sebenarnya memicu aktivitas pengelompokan dan pengumpulan dan kapan, tidak dipahami. Jika tidak dipahami, itu tidak dapat diprediksi dan karena itu saat ini tidak dapat dimodelkan dengan andal" (Diagram 1).

PERSOALAN DALAM PENELITIAN EVAKUASI KEBAKARAN

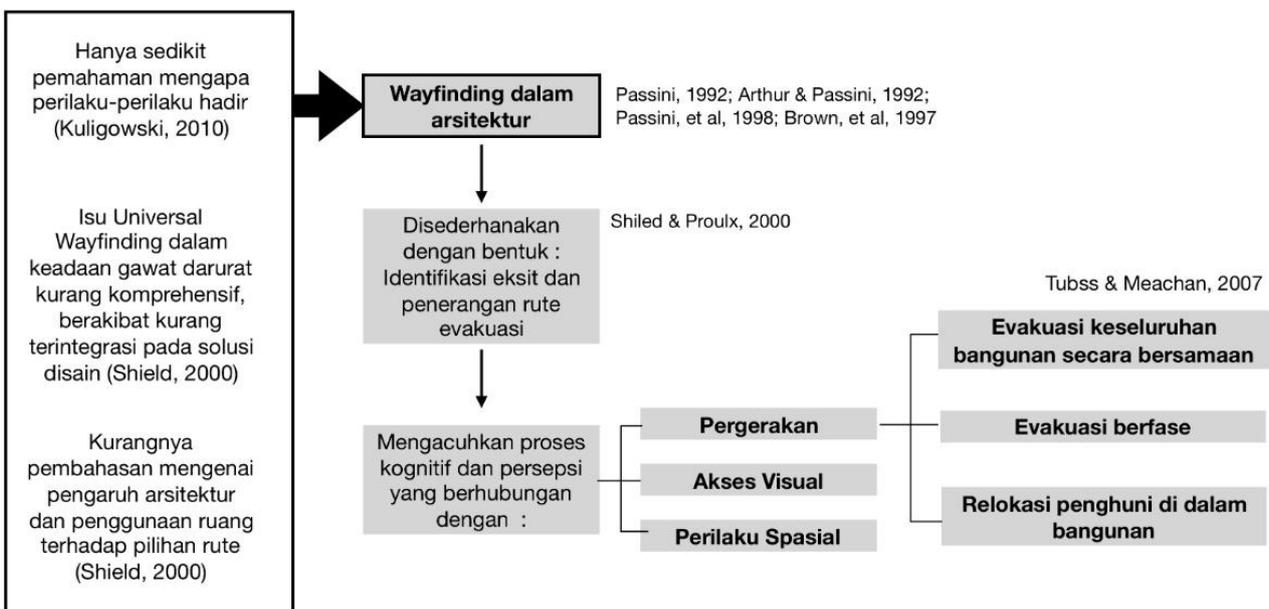


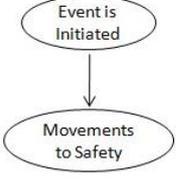
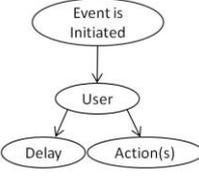
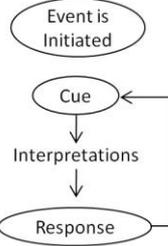
Diagram 1. Diagram Persoalan dalam Penelitian Evakuasi Kebakaran
 Sumber : Analisis Penulis, 2017

Pentingnya memahami logika keputusan evakuasi dapat memperkuat landasan ketika melakukan desain bangunan sekaligus mendukung manajemen evakuasi bangunan yang berkontribusi pada pergerakan penghuni yang efektif dalam keadaan darurat (Groner, 2016; Shields & Proulx, 2000). Logika keputusan evakuasi dipengaruhi oleh latar belakang individu yang mempersepsikan lingkungannya dalam keadaan panik. Sehingga dalam pemodelan perilaku evakuasi kebakaran perlu suatu aspek yang saling terintegrasi. Ada satu kesamaan faktor yang dapat disepakati diantara pengguna model, sehingga keakuratan model yang disimulasikan dapat diandalkan, serta penelitian terkait pemodelan perilaku evakuasi memiliki fokus pengembangan yang jelas. Salah satu hal mendasar yang belum tergalikan dengan optimal adalah aspek motivasi, hal yang mendasari terjadinya perilaku yang hadir dalam kejadian kebakaran.

Aspek motivasi dapat ditinjau dengan menelaah hubungan antara peta kognitif penghuni dan kondisi spasial, bagaimana arsitektur dan penggunaan ruang mempengaruhi pilihan rute keluar (Shields & Proulx, 2000). Peta kognitif adalah sebuah alat mental yang berfungsi mengkodekan dan menyederhanakan cara penyusunan lingkungan spasial kita. Hal ini terkait dengan konteks, situasi, lingkungan, juga kemampuan seseorang untuk dengan cepat mempelajari dan mendapatkan pemahaman dasar dari ruang (Arezez & Carvalho, 2016).

Dengan adanya pemahaman terhadap aspek ini, model sebagaimana yang dikemukakan oleh Kuligowski pada Tabel 1 (Kuligowski, 2008) dapat terealisasi dan realibilitas model dapat semakin mendekati kondisi nyata. Pemahaman akan motivasi keputusan evakuasi juga dapat membantu merumuskan kesepakatan atribut individu atau agen berdasarkan latar belakang yang dimilikinya serta tipologi bangunan yang mengalami kebakaran yang dapat digunakan oleh model simulasi komputasi maupun model matematis.

Tabel 1. Tipe Model Evakuasi

<i>Current Non-Behavioral Model</i>	<i>Current Behavioral Model</i>	<i>Proposed Behavioral Model</i>
		
<p><i>No behavior is simulated. The population or the individual begins to evacuate via the defined route as soon as the event begins.</i></p>	<p><i>The user determines the types of responses that occupants are likely to take during the model configuration stage and these actions are carried out during the simulation. A group or individual in the simulation can either delay and/or perform an action or series of actions during the evacuation based on initial, user-defined inputs.</i></p>	<p><i>The model's underlying data and theory predict the behavioral responses taken by the occupants based on their perceived cues and the interpretations/decisions made. An individual in the simulation develops an interpretation of the cue, the situation and the risk and then makes a decision on what to do next. This can occur for an individual each time a cue is received.</i></p>

Sumber : Kuligowski, 2008

PROSPEK PENERAPAN METODE PEMODELAN UNTUK PENELITIAN PERILAKU EVAKUASI DI INDONESIA

Di Indonesia sendiri penelitian arsitektural terkait dengan perilaku evakuasi keselamatan kebakaran masih sangat minim. Sebagian berfokus pada kesesuaian dengan aturan preskriptif (Sukawi et al., 2016), penempatan alat pemadaman aktif (Pynkyawati et al., 2013), mitigasi (Rahmawati et al., 2016; Sagala, Adhitama, & Sianturi, 2013), deskripsi sifat fisik kebakaran (N.Vinky Rahman, 2004), serta struktur kota untuk meminimalisir kebakaran pada area bersejarah (Fransiska & Anwar, 2009).

Model simulasi evakuasi sendiri banyak terkait dengan bidang informatika yang membahas dari segi penggunaan software seperti Agent Based

Modelling and Simulation (Vianandha et al., 2015). Kurangnya penelitian arsitektur yang mengkaji perilaku evakuasi kebakaran di Indonesia menjadi peluang untuk melakukan penelitian terkait pemodelan perilaku evakuasi kebakaran. Hal ini dapat membantu meningkatkan pengetahuan arsitektural mengenai evakuasi kebakaran bangunan yang berbasis kinerja, bukan berbasis preskriptif seperti yang saat ini kebanyakan dilakukan. Penerapan model perilaku evakuasi kebakaran bangunan di Indonesia dapat menjadi bahan evaluasi peraturan bangunan terkait kebakaran yang sudah ada sekaligus menjadi referensi bagi manajemen evakuasi bangunan yang lebih efektif.

Hambatan penerapan model perilaku evakuasi kebakaran bangunan di Indonesia terkait dengan kurangnya dokumentasi data kejadian kebakaran yang pernah terjadi, sehingga hal-hal terkait fakta kebakaran yang dapat menjadi pertimbangan pembuatan fitur atau parameter agen, serta pemahaman logika perilaku tidak dapat dilacak. Banyak negara maju dan berkembang memiliki sistem pencatatan data kebakaran yang baik dan lengkap, seperti Dinas pemadam Kebakaran Amerika yang memiliki standar pencatatan meliputi (bigrigg & Tustin, 2006) waktu alarm diterima, waktu tiba pada lokasi *emergency*, keadaan cuaca, kehadiran pemilik atau pengunjung saat kebakaran, siapa yang melaporkan situasi, siapa petugas yang pertama masuk, saksi mata, jumlah korban dan lain-lain. Hal ini mempermudah peneliti untuk merekayasa ulang model berdasarkan informasi tersebut dan memvalidasinya kembali.

Perilaku masyarakat Indonesia yang sarat unsur sosial budaya merupakan sebuah potensi yang dapat dikembangkan dalam pemahaman hadirnya perilaku evakuasi yang efektif dalam bangunan di Indonesia. Cara pandang dan perilaku meruang dalam konteks budaya Indonesia sangat beragam. Hal ini tentu mempengaruhi pembentukan peta mental serta pengambilan keputusan terutama dalam kondisi evakuasi. Penelitian perilaku evakuasi terkait perbedaan sosial budaya (Almejmaj, Skorinko, & Meacham, 2017; Lin, Zhu, Li, & Becerik-Gerber, 2020; Troncoso, 2014; Zhu, Lin, Becerik-gerber, & Li, 2020) saat ini juga tengah

menarik perhatian untuk dikaji mendalam. Dengan menggali aspek tersebut diharapkan dapat memperluas pengetahuan tentang desain keselamatan pada bangunan yang efektif dan kontekstual dengan kondisi masyarakat Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Almejmaj, M., Skorinko, J. L., & Meacham, B. J. (2017). The Effects of Cultural Differences Between The US and Saudi Arabia on Emergency Evacuation-Analysis of Self Reported Recognition/Reaction Times and Cognitive State. *Case Studies in Fire Safety*, 7, 1–7.
<https://doi.org/10.1016/J.CSFS.2016.12.002>
- Arezez, P. M., & Carvalho, P. V. R. de. (2016). *Ergonomics and Human Factors in Safety Management*. Boca Raton: CRS Press.
- Bigrigg, B., & Tustin, C. R. (2006). From Note Taking To Note Making - Fire Engineering. Diakses: 29-05-2017, <sumber: <http://www.fireengineering.com/articles/prnt/volume-159/issue-7/features/from-note-taking-to-note-making.html>>
- Billington, M. J., Ferguson, A., & Copping, A. G. (2002). *Means of Escape from Fire*. Means of Escape from Fire. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9780470758458>
- Drury, J., Novelli, D., & Stott, C. (2013). Psychological Disaster Myths in The Perception and Management of Mass Emergencies. *Journal of Applied Social Psychology*, 43(11), 2259–2270.
<https://doi.org/10.1111/jasp.12176>
- Fransiska, W., & Anwar, F. (2009). The Role of Old Urban Structure in Preventing The Old Historical Area from Fire Disaster. *Civil Engineering*, 1–8.
- Groner, N. E. (2016). A Decision Model for Recommending Which Building Occupants Should Move Where During Fire Emergencies. *Fire Safety Journal*, 80, 20–29.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.11.002>
- Gwynne, S., Galea, E. R., Lawrence, P. J., & Filippidis, L. (2001). Modelling Occupant Interaction with Fire Conditions Using The Buildingexodus Evacuation Model. *Fire Safety Journal*, 36(4), 327–357.
-

- [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(00\)00060-6](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(00)00060-6)
- Haghani, M., & Sarvi, M. (2016). Human Exit Choice in Crowded Built Environments: Investigating Underlying Behavioural Differences Between Normal Egress and Emergency Evacuations. *Fire Safety Journal*, 85, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.07.003>
- Haghani, M., Sarvi, M., Shahhoseini, Z., & Boltes, M. (2016). How Simple Hypothetical-Choice Experiments Can Be Utilized to Learn Humans' Navigational Escape Decisions In Emergencies. *PLoS ONE*, 11(11), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166908>
- Kuligowski, E. D. (2008). Modeling Human Behavior during Building Fires. *Modeling Human Behavior during Building Fires*, 1–21. <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1619>
- Kuligowski, E. D., & Gwynne, S. M. V. (2010). The Need for Behavioral Theory in Evacuation Modeling. *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*, 721–732. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04504-2_70
- Kuligowski, E. D., & Peacock, R. D. (2005). Technical Note 1471 A Review of Building Evacuation Models.
- Lin, J., Zhu, R., Li, N., & Becerik-Gerber, B. (2020). Do People Follow The Crowd In Building Emergency Evacuation? A Cross-Cultural Immersive Virtual Reality-Based Study. *Advanced Engineering Informatics*, 43(July 2019), 101040. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101040>
- Lovas, G. G. (1998). Models of Wayfinding in Emergency Evacuations. *European Journal of Operational Research*, 105(97), 371–389. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00084-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00084-2)
- N.Vinky Rahman. (2004). Kebakaran, Bahaya Unpredictable, Upaya dan Kendala Penanggulangannya. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara*, 1–18.
- Perry, R. W., & Green, M. R. (1982). The Role of Ethnicity in The Emergency Decision-Making Process. *Sociological Inquiry*, 52(4), 306–334. <https://doi.org/10.1111/j.1475-682X.1982.tb01257.x>
- Purser, D. A., & Bensilum, M. (2001). Quantification of Behaviour for Engineering Design Standards and Escape Time Calculations. *Safety Science*, 38(2), 157–182. [https://doi.org/10.1016/S09257535\(00\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S09257535(00)00066-7)
- Pynkyawati, T., Amir, A., Ode, L., Al, A., Bandung, B., Bsm, S., & Bandung, S. (2013). Kajian Desain Sirkulasi Ruang Dalam sebagai Sarana Evakuasi pada Kondisi Bahaya Kebakaran di Bandung Supermal dan Trans Studio Bandung. *Jurnal Online Itenas*, 1–10.
- Rahmawati, D., Pamungkas, A., Aulia, B. U., Larasati, K. D., Rahadyan, G. A., & Dito, A. H. (2016). Participatory Mapping for Urban Fire Risk Reduction in High-density Urban Settlement. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 227(November 2015), 395–401. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.091>
- Ramadhan, Bi. (2015). Bandung Indah Plaza Kebakaran, Pengunjung Panik | Republika Online. Diakses: 10-10-2017, <sumber: <http://nasional.republika.co.id/berita/nasional/daerah/15/01/28/nivhh8-bandung-indah-plaza-kebakaran-pengunjung-panik>>
- Rubin, G. J., Williams, R., Carter, H., Drury, J., & Amlo, R. (2014). Effective Responder Communication Improves Efficiency and Psychological Outcomes in a Mass Decontamination Field Experiment : Implications for Public Behaviour in the Event of a Chemical Incident. *PLoS ONE*, 9(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089846>
- Sagala, S., Adhitama, P., & Sianturi, D. G. (2013). Analisis Upaya Pencegahan Bencana Kebakaran di Permukiman Padat Perkotaan Kota Bandung, Studi Kasus Kelurahan Sukahaji (Desember 2013 No. 3). *Resilience Development Initiative* (Vol. 49). Bandung.
- Shields, T., & Proulx, G. (2000). The Science of Human Behavior: Past Research Endeavors, Current Developments and Fashioning a Research Agenda. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Fire Safety Science*, 95–114.
- Sime, J. D. (1985). Movement toward the familiar: Person and Place Affiliation in a Fire Entrapment Setting. *Environment and Behavior*, 17(6), 697–724. <https://doi.org/10.1177/0013916585176003>
-

- Sivers, I Von, Templeton, A., Künzner, F., Köster, G., Drury, J., Philippides, A., ... Bungartz, H. (2016). Modelling Social Identification and Helping In Evacuation Simulation. *Safety Science*, 89, 288–300. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.07.001>
- Sukarno, P. A. (2016). Sepanjang 2016, di DKI Terjadi 1.139 Kasus Kebakaran. Diakses: 12-05-2017, <sumber: <http://jakarta.bisnis.com/read/20161224/77/614774/sepanjang-2016-di-dki-terjadi-1.139-kasus-kebakaran>>
- Sukawi, Hardiman, G., Aini DA, N., & Amany, Z. (2016). Evaluasi Sistem Proteksi Kebakaran pada Bangunan Rumah Susun (Studi Kasus : Rusunawa Undip). *Modul*, 16(1), 35–42.
- Sun, C., de Vries, B., & Zhao, Q. (2010). Architectural Cue Model in Evacuation Simulation for Underground Space. *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04504-2_58
- Thompson, P. A., & Marchant, E. W. (1995). Computer and Fluid Modelling of Evacuation. *Safety Science*, 18, 277–289.
- Troncoso, J. (2014). Response to Emergency Way-Finding Systems by People from Different Cultures. Lund University. <sumber: https://www.researchgate.net/publication/283072432_Response_to_emergency_way-finding_systems_by_people_from_different_cultures>
- U.S. Fire Administration. (2011). Fire Death Rate Trends : An International Perspective. *Topical Fire Report Series*, 12(8), 1–8.
- Vani, K., & Idicula, S. M. (2013). Leader-Follower Model, 4(8).
- Vianandha, V., Jondri, & Arifianto, A. (2015). Implementasi Agnet-based Modelling and Simulation dalam Evakuasi Keadaan Darurat.
- Von Sivers, Isabella, Templeton, A., Köster, G., Drury, J., & Philippides, A. (2014). Humans Do Not Always Act Selfishly: Social Identity and Helping in Emergency Evacuation Simulation. *Transportation Research Procedia*, 2, 585–593. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.099>
- Zhu, R., Lin, J., Becerik-gerber, B., & Li, N. (2020). Influence Of Architectural Visual Access on Emergency Wayfinding : A Cross-Cultural Study in China , United Kingdom and United States. *Fire Safety Journal*, 113(May 2019), 102963. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.102963>