

PENGUNAAN *BIM* UNTUK MENINGKATKAN KESELAMATAN KEBAKARAN PADA BANGUNAN GEDUNG TINGGI

Paulus Setyo Nugroho¹, Yusuf Latief², Bagyo Mulyono³, Alvian Amaly Fasha Najmu Zaman⁴

^{1,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

²Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok

Email: paulus.nugroho@unsoed.ac.id; yusuflatief73@gmail.com; bagyo.mulyono@unsoed.ac.id
alvian.zaman@mhs.unsoed.ac.id

ABSTRAK

Bangunan gedung tinggi menjadi pilihan utama di kota-kota besar di dunia karena harga lahan yang sangat mahal dan adanya kebutuhan untuk fungsi perkantoran, tempat tinggal, hotel, dan berbagai fungsi lainnya. Selain memberikan manfaat yang besar, bangunan gedung tinggi juga ada konsekuensi berupa meningkatnya risiko kebakaran pada bangunan. Kebakaran pada bangunan gedung tinggi dapat menimbulkan korban jiwa dan material. Untuk mengatasinya dibutuhkan strategi keselamatan terhadap bahaya kebakaran yang terintegrasi dan efisien. Saat ini, pendekatan keselamatan dilakukan dengan merancang, menerapkan dan memelihara sistem proteksi kebakaran menggunakan cara-cara tradisional. *Building Information Modelling (BIM)* merupakan proses pemodelan gedung yang awalnya berbasis model 3D dan telah dikembangkan sampai 7D yang menyediakan informasi dan alat yang membantu proses perencanaan dan perancangan lebih efisien dan efektif dalam proses konstruksi. *BIM* pada awal kemunculannya berfungsi untuk membantu fungsi perancangan, pembangunan dan pengoperasian gedung. Walaupun belum banyak dilakukan, saat ini mulai dikembangkan fungsi *BIM* untuk membantu meningkatkan keselamatan kebakaran. Penelitian ini bertujuan untuk memperluas peran *BIM* untuk keperluan *fire safety* pada bangunan gedung bertingkat tinggi dengan pendekatan potensi pemanfaatan pada tahap pra konstruksi, konstruksi dan paska konstruksi, serta mengidentifikasi peralatan dan pekerjaan yang berhubungan dengan *fire safety* yang mendukung peningkatan keselamatan kebakaran pada bangunan gedung tinggi. Metode yang dilakukan yaitu metode kualitatif deskriptif yaitu dengan kajian literatur dan validasi pakar dengan cara wawancara. Hasil yang didapat berupa proyeksi ideal penggunaan *BIM* untuk meningkatkan keselamatan kebakaran pada bangunan gedung tinggi. Hasil proyeksinya divalidasi oleh ahli *BIM* dan *fire safety*.

Kata Kunci: *BIM, keselamatan kebakaran, bangunan gedung bertingkat tinggi*

ABSTRACT

High rise building has been the main choice in big cities across the world as land price is significantly expensive and the needs for office, residence, hotel and many others are increasing. While high rise building provides great benefits, it also has negative consequence with regard to increasing risks of fire in building. High rise building fire could cause fatalities and losses. To overcome it, an integrated and efficient fire safety strategy is required. To date, the approaches for safety are design, implementation and maintenance of fire protection system from the stage of pre-construction, construction and post-construction using traditional methods. Building Information Modelling (BIM) is a process of modelling a building that initially is based on 3D and it has been enhanced to 7D that provides information and tools to help planning and designing in construction process to be more efficient and effective. At its initial emerge, BIM were used to help planning, construction and operational of buildings. Recently, BIM has also been employed to improve fire safety. This study aims to extend the application of BIM on fire safety in high rise building using the approach of utilizing its potency from the pre-construction, construction and post-construction stage, as well as identifying equipment's and works related to fire safety that support fire safety enhancement on high rise buildings. The method implemented was qualitative descriptive that performed using literature review and expert validation through in-depth interview. The result is an ideal projection of BIM implementation to heighten fire safety on high rise buildings. The projection was validated using BIM and fire safety experts.

Key words: *building information modelling (BIM), fire safety, high-rise building*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat untuk berbagai fungsi kantor, hotel, hunian dan harga tanah yang mahal mempengaruhi banyaknya bangunan gedung tinggi yang muncul di Jakarta. Walaupun memberikan banyak manfaat namun hal itu mengakibatkan meningkatnya salah satu risiko pada bangunan gedung tinggi, yaitu sulitnya memadamkan dan mengevakuasi ketika terjadi kebakaran.

Menurut peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.26/PRT/M/2008 tentang persyaratan teknis sistem proteksi kebakaran pada bangunan gedung dan lingkungan disebutkan bahwa pengelolaan proteksi kebakaran adalah upaya mencegah terjadinya kebakaran atau meluasnya kebakaran ke ruangan maupun ke lantai - lantai bangunan, serta ke bangunan lainnya melalui eliminasi ataupun meminimalisasi risiko bahaya kebakaran, pengaturan zona - zona yang berpotensi menimbulkan kebakaran, serta kesiapan sistem proteksi aktif dan pasif pada bangunan.

Banyak hal yang dapat dikembangkan dalam strategi keselamatan bahaya kebakaran bangunan gedung tinggi, salah satunya adalah penggunaan *Building Information Modelling (BIM)*. *BIM* adalah sebuah proses berbasis 3D yang menyediakan informasi dan alat untuk merencanakan sebuah desain secara efisien, proses konstruksi dan manajemen bangunan (Matthews, dkk., 2011).

BIM memiliki 8 dimensi dengan fungsi dan kegunaannya yang berbeda. Oleh karena itu, *BIM* dinilai efektif dalam visualisasi 3D, penyimpanan data untuk perencanaan, penjadwalan, perhitungan anggaran, pembangunan, pengoperasian, pemeliharaan konstruksi bangunan gedung serta keselamatan dan kesehatan kerja.

Penggunaan *BIM* untuk keperluan *fire safety* di Indonesia masih kurang efektif karena berbagai sebab. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan menghasilkan proyeksi ideal terkait penggunaan *BIM* sebagai strategi meningkatkan keselamatan bahaya kebakaran bangunan gedung tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah:

- a. Identifikasi potensi peran *BIM* untuk meningkatkan *fire safety* pada tahap pra konstruksi, konstruksi dan pasca konstruksi bangunan gedung tinggi.
- b. Identifikasi pekerjaan dan peralatan *fire safety* yang dapat dihubungkan dan bertambah efektifitasnya dengan *BIM* untuk meningkatkan keselamatan kebakaran.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Gedung

Menurut Undang-undang No. 28 tahun 2002 bangunan Gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, keseluruhan maupun sebagian

bangunannya berada di atas tanah atau air. Bangunan gedung memiliki fungsi sebagai tempat hunian, tempat usaha, tempat sosial dan budaya serta fungsi khusus.

Klasifikasi bangunan gedung terbagi menjadi 3 (tiga) yaitu: bangunan gedung bertingkat tinggi memiliki jumlah lebih dari 8 lantai, bangunan gedung bertingkat sedang memiliki jumlah 5 sampai dengan 8 lantai, dan bangunan gedung bertingkat rendah memiliki kurang dari 4 lantai.

2.2 Kebakaran

Menurut SNI 03-3987-1995, kebakaran adalah bahaya yang diakibatkan oleh adanya ancaman potensial dan terkena pancaran api sejak awal terjadi penyalaan hingga perjalanan api, asap dan gas yang ditimbulkan.

Klasifikasi bahaya kebakaran dibagi menjadi 3, yaitu bahaya kebakaran ringan, bahaya kebakaran sedang dan bahaya kebakaran tinggi. Kebakaran dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu, nyala api dan bahan bahan yang pijar, penyinaran, peledakan uap atau gas, peledakan debu atau noktah zat cair, percikan api, terbakar sendiri, reaksi kimiawi dan peristiwa lainnya.

Menurut Menteri Pekerjaan Umum No.26/PRT/M/2008 definisi sistem proteksi kebakaran adalah sistem yang terdiri atas peralatan, kelengkapan dan sarana, baik yang terpasang maupun pada bangunan yang digunakan baik untuk tujuan sistem proteksi aktif, sistem proteksi pasif, maupun cara-cara pengelolaan dalam rangka melindungi bangunan dan lingkungannya terhadap bahaya kebakaran.

2.3 BIM

Menurut *National Institute of Building Science (NIBS)*, *BIM* merupakan representasi atau gambaran berbentuk digital dari seluruh karakteristik fisik dan fungsional dari sebuah bangunan dan berkaitan dengan informasi proyek/siklus, dimana *BIM* akan menjadi sumber informasi bagi pemilik/pengguna dalam menggunakan dan memelihara selama melewati siklus dari gedung tersebut (Jiang, 2011).

BIM dibagi menjadi beberapa tingkatan, yaitu 2D gambar yang terdiri dari sumbu X dan Y, 3D gambar yang terdiri dari sumbu X, Y dan Z, 4D tambahan mengenai penjadwalan, 5D ada tambahan mengenai anggaran biaya, 6D ada tambahan informasi energi, 7D ada tambahan tentang pemeliharaan atau pengoperasian selama siklus hidup bangunan, dan 8D terdapat tambahan informasi pencegahan kecelakaan kerja (Singh, 2020).

BIM lahir dari kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi digital yang dapat digunakan dan diberdayakan oleh beberapa pihak konstruksi untuk

mengurangi kesalahan desain, mengurangi deteksi bentrok/*clash detection*, meningkatkan integrasi biaya dan waktu, meningkatkan integrasi tahap desain dan konstruksi, meningkatkan kolaborasi antara berbagai disiplin ilmu, meningkatkan daur ulang serta meminimalisir penggunaan sumber daya manusia (Apriyani, 2019).

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dijadikan bahan referensi dan dianalisa oleh penulis untuk membantu penulisan serta sumber data dalam penelitian ini. Penulis merangkum beberapa artikel terkait yaitu dengan menggunakan *BIM* dan desain generatif sehingga membantu desainer dalam merencanakan dan membandingkan beberapa desain yang dibuat dan memilih salah satu yang dinyatakan memenuhi kriteria keselamatan kebakaran. *BIM* menjadi instrumen baru bagi para desainer yang membantu dalam hal menyelidiki berbagai solusi desain dengan cara yang terkontrol dan otomatis (Lovrelia, 2021), menampung spektrum data yang luas yang berkaitan dengan aktivitas siklus hidup bangunan, memungkinkan menyajikan tata letak arsitektur dalam bentuk 3D, memiliki potensi untuk mendukung penyelidikan informasi kebakaran dan perencanaan rute evakuasi (Chen dkk., 2021).

Implementasi *BIM* dilakukan dengan menerapkan data geometris untuk mendukung penilaian evakuasi, perencanaan rute pelarian, pendidikan keselamatan dan perawatan alat-alat keselamatan (Wang dkk., 2015), membantu dalam rencana evakuasi dalam ruangan pada skenario kebakaran, terutama penentuan posisi dalam ruangan dan perencanaan rute penyelamatan dengan mengintegrasikan *BIM* dan *computer vision* (Deng dkk., 2021). Dengan adanya *BIM* dapat dilakukan proses pelatihan yang nyaman bagi pengguna gedung untuk meningkatkan kesadaran pada saat keadaan darurat. Skenario yang diuji memungkinkan pengguna gedung lebih cepat mengenal bagian gedung dan dapat mengidentifikasi rute evakuasi yang tepat (Wang dkk., 2014)

Sekarang juga dimungkinkan suatu *prototipe* sistem terintegrasi cerdas berbasis *BIM* untuk pencegahan dan penanggulangan bencana. Petugas pemadam kebakaran dapat menerapkan sistem pencegahan kebakaran dan mampu menunjukkan rute evakuasi yang optimal dalam model 3D (Cheng dkk., 2017). Penggunaan *BIM* akan menghasilkan efisiensi yang lebih besar melalui peningkatan kerja sama (Shiau dkk., 2012). Proses pengambilan keputusan diusulkan untuk misi pencarian dan penyelamatan penghuni bangunan gedung. Proses tersebut mengambil model *BIM* sebagai input dan grafik untuk pemodelan jaringan (Chen dan Chu, 2019). Secara teoritis dan usulan, *BIM* juga

merupakan faktor yang berpengaruh untuk menentukan premi asuransi kebakaran pada bangunan gedung. *Fire Safety Management (FSM)* merupakan suatu cara dalam mengantisipasi bahaya kebakaran selama operasi, sehingga pada saat kebakaran terjadi dapat mengurangi jumlah kerugian yang ditimbulkan akibat kebakaran serta dapat diatasi secara mandiri (Samuel dkk., 2021)

Pembuatan manajemen yang sistematis dilakukan dengan berbagai disiplin ilmu. Desainer berdasarkan peraturan dan pedoman menggunakan aplikasi *BIM* untuk pengolahan data, sehingga pada tahap operasional gedung dapat diterapkan dan disajikan sistem pemeriksaan otomatis dengan cara pemeriksaan data *BIM* yang benar (Choi dkk., 2014). Petugas penyelamat juga dapat mengakses sistem melalui jaringan untuk menilai situasi saat ini dan memperoleh informasi yang relevan seperti titik nyalanya api dan lokasi serta isi peralatan pengendali kebakaran (Shiau dkk., 2013).

Platform integrasi 3D GIS dan *BIM* menyediakan *multi-level* dan jumlah informasi geospasial yang cukup untuk fungsi data dan tugas manajemen yang baik untuk mendukung proses manajemen respon kebakaran dengan mempertimbangan situasi dalam dan luar ruangan (Jianyong Shi dan Pai Lu, 2014). Dengan menggunakan teknologi *BIM*, keakuratan informasi dari sistem penilai dapat dipastikan, berbagi informasi antar berbagai profesi dapat dilakukan, penilaian keselamatan kebakaran gedung juga dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi (Wang dkk., 2021). Analisis yang dilakukan telah diperbaharui dan dimodifikasi dengan menggunakan *BIM* yang dibantu dengan menggunakan *data point cloud Tellestrial Laser Scanner (TLS)* dalam mengukur jarak antar ruangan dan dinding (Putra dkk., 2021). Salah satu cara untuk cara membuat manajemen yang sistematis yaitu menggunakan *Internet of Things (IoT)* untuk merancang sistem pemadam kebakaran awal yang dapat menampilkan data yang dibutuhkan. laporan yang benar, dan sistem dapat mendeteksi sebelum api membesar. Batasan sistem ini antara lain konektifitas internet dan kondisi lingkungan (Eltom dkk., 2018). Penggabungan teknologi *IoT* dengan *BIM* mampu meningkatkan pencegahan kebakaran dan sistem manajemen darurat. Dengan adopsi model *BIM*, data dinamis yang diperoleh sensor dapat dicocokkan dengan data statis geometrik dan semantik yang berhubungan. Ini memberikan hasil yang lebih andal untuk analisis parameter terkait kebakaran dan untuk pengambilan keputusan darurat (Sergi dkk., 2021).

3. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif yaitu

dengan kajian literatur dan validasi pakar dengan cara wawancara.

3.1 Alat dan bahan Penelitian

Alat yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah laptop atau *personal computer (PC)* dan alat bantu aplikasi untuk berkomunikasi secara daring.

3.2 Batasan Waktu Sumber Literatur

Pada penelitian ini publikasi artikel, buku maupun laporan ilmiah yang dijadikan bahan penelitian memiliki batas maksimal 10 tahun semenjak tahun pertama diterbitkan sampai dengan saat ini, yaitu dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2021.

3.3 Kebutuhan Data

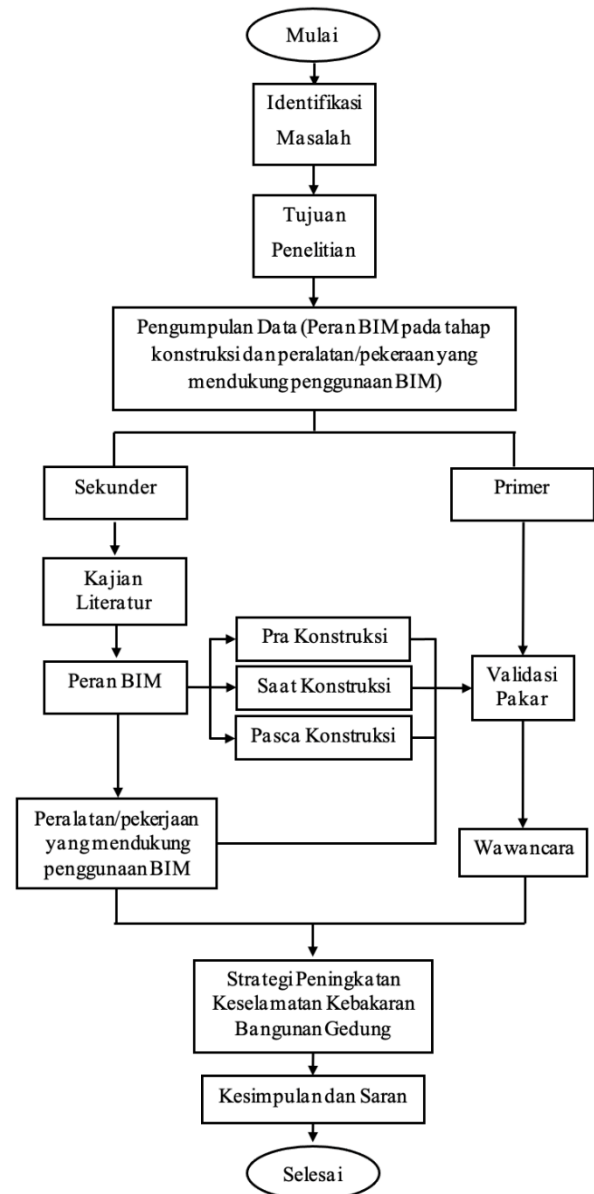
Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder dan data primer yaitu kajian literatur dan validasi kepada pakar ahli. Strategi pencarian artikel penelitian dilakukan secara komprehensif melalui database antara lain *Google Scholar, ScienceDirect, Elsavier, Crossref, ieeexplore* dan lainnya

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan dilakukannya penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan proyeksi ideal terkait strategi keselamatan terhadap bahaya kebakaran pada bangunan gedung tinggi dengan menggunakan *BIM*.

3.5 Metode Analisis

Tahapan *literature review* yaitu menentukan topik, pencarian pustaka, analisis serta menulis *literature review*. Literatur yang dikaji adalah artikel yang berhubungan dengan penggunaan *BIM* sebagai strategi keselamatan bahaya kebakaran pada bangunan gedung di Indonesia.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Validasi pakar menggunakan wawancara semi terstruktur yang bertujuan untuk menjawab masalah secara lebih terbuka, dimana penjawab atau narasumber diminta pendapat dan idenya. Wawancara dilakukan kepada narasumber yang berpengalaman terkait *BIM* serta pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan gedung tinggi.

Tahapan wawancara adalah sebagai berikut:

1. Membuat pertanyaan wawancara yang sesuai dengan kebutuhan.
2. Menentukan narasumber.
3. Menentukan sistem, lokasi serta waktu dilakukannya wawancara.
4. Melakukan proses wawancara.
5. Mendokumentasikan saat melakukan wawancara.
6. Memastikan hasil wawancara telah sesuai dengan kebutuhan.
7. Rekapitulasi hasil wawancara.

Pada saat kajian ini ditulis, proses wawancara sedang dalam proses.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Peran *BIM*

Berdasarkan hasil dari pengkajian literatur, didapat peran *BIM* pada tahap pra konstruksi, konstruksi dan pasca konstruksi sebagai strategi keselamatan bahaya kebakaran pada bangunan gedung tinggi, yaitu:

1. Pemanfaatan *BIM* pada tahap Pra Konstruksi

- a. Merencanakan manajemen keselamatan yang sistematis dengan melibatkan berbagai disiplin ilmu. Obyek bangunan cerdas berbasis *BIM* dapat mempresentasikan fungsi, struktur, penggunaan dan informasi regulasi. *BIM* sangat berguna bagi pengelola bangunan gedung untuk memeriksa status peralatan menggunakan properti objek bangunan seperti karakteristik dan informasi untuk menghubungkan semua informasi dari berbagai disiplin ilmu (Choi dkk., 2014).
- b. Membuat simulasi evakuasi yang dapat menyelidiki dan menganalisis perilaku penghuni dan kinerja keselamatan kebakaran dari berbagai rencana arsitektur dalam keadaan darurat. Dengan demikian, alur pembuatan jalur evakuasi dapat ditentukan dari segi tata letak bangunan dan melalui skenario kebakaran yang telah dirancang. Hal ini dapat menciptakan tugas manajemen yang baik untuk mendukung proses manajemen respon kebakaran berdasar situasi dalam dan luar ruangan secara *real time* (Jianyong Shi dan Pai Lu, 2014).
- c. Penyebaran asap dan api dapat di representasikan dalam model 3D, jumlah, densitas api dan sistem pendeteksi asap serta *sprinkler* dihitung sedemikian rupa sehingga mampu memberikan waktu yang cukup bagi pemadam untuk mengambil tindakan. Lokasi, jalan keluar dan tangga darurat dihitung dengan menggunakan *BIM*. Tempat-tempat yang rawan terjadinya kebakaran seperti gudang, dapur dan bengkel dapat dimodelkan dengan dan dipertimbangkan untuk pengambilan keputusan (Nugroho dkk., 2020)
- d. *BIM* dapat digunakan untuk memodelkan jalur evakuasi untuk menyelamatkan penghuni dari ruangan atau tingkat tertentu. Dengan integrasi *BIM* dan rute penyelamatan, seluruh elemen bangunan dapat diakses untuk dianalisis, terkait jalan keluar dan pengaruh terhadap proses keluarnya (Nugroho dkk., 2020).

2. Pemanfaatan *BIM* pada tahap Konstruksi

- a. Dapat menghasilkan definisi dan anotasi terperinci untuk setiap objek atau komponen bangunan. Fungsi ini mengembangkan sistem pengawasan dan manajemen pengendalian kebakaran dengan memasukkan data komponen gedung dan peralatan pencegahan kebakaran ke dalam model spasial gedung (Shiau dkk., 2013).
 - b. Mendukung penilaian evakuasi untuk menghitung waktu keluar keselamatan yang diperlukan dan waktu keluar yang tersedia dari sebuah bangunan tersebut dapat diterima atau tidak. Pekerjaan harus mempertimbangkan pengaruh karakteristik manusia dan berbagai karakteristik bangunan (seperti bahan dinding, pintu, jendela, dll) untuk membantu mempermudah penilaian evakuasi agar lebih akurat dalam mendapat hasil akhir (Wang dkk., 2015).
- #### 3. Pemanfaatan *BIM* pada Tahap Pasca Konstruksi/Operasional Bangunan Gedung
- a. Sebagai perencanaan rute pelarian yaitu mengukur ulang rute penyelamatan secara dinamis dalam fase operasi (ketika banyak objek baru yang telah dipindahkan ke dalam atau keluar gedung yang dapat memblokir rute yang telah direncanakan) harus dimanfaatkan untuk membantu perencanaan rute pelarian. Fungsi ini digunakan untuk mengukur jarak antara titik terjauh dari setiap area pelarian (biasanya di sudut area) dan pintu keluar untuk memastikan bahwa jarak pelarian maksimum tidak terlampaui (Wang dkk., 2015).
 - b. Membuat representasi 3D untuk membantu pengguna mengingat area berbahaya dan rute pelarian. Manajemen keselamatan dengan representasi 3D area berbahaya dan menyediakan video rute pelarian. Video rute pelarian, didasarkan pada hasil evaluasi perencanaan rute pelarian yang telah disetujui dan diterima, oleh karena itu penghuni, pemilik dan petugas dapat memvisualisasikan peta arah pelarian 3D, hal ini dapat mendidik penghuni baru untuk mengetahui rute pelarian yang telah ditetapkan (Wang dkk., 2015).
 - c. Dapat menyimpan semua data dan catatan mengenai peralatan kebakaran. Hal ini membantu staf pemeliharaan mengambil data/informasi yang diperlukan dengan cepat tentang peralatan atau perangkat keselamatan. Data/informasi ini yaitu semua peralatan, termasuk nama, ukuran, lokasi, kode area dimana letak alat tersebut berada, bentuk, merek, waktu inspeksi terakhir, waktu pemeliharaan, garansi, spesifikasi

- komponen kation, pengoperasian manual, kontak pemeliharaan, garansi kontraktor, pabrikan, harga satuan, aksesoris dan kondisi terkini. Data/informasi disimpan di setiap objek peralatan dalam model *BIM* (Wang dkk., 2015).
- d. Mampu menyediakan atau memanfaatkan informasi bangunan terkini dengan teknologi *virtual reality* untuk memberikan panduan evakuasi. *BIM* dalam hal ini memberikan hal penting dalam menyediakan informasi bangunan secara *real time* dan akurat dalam situasi darurat karena format data yang komprehensif dan standar serta proses yang terintegrasi. Dengan memanfaatkan sumber daya data komprehensif yang di-*hosting* *BIM*, perangkat seluler yang dipegang oleh pengguna/pengunjung gedung, arus informasi dua arah dan dinamis waktu nyata dapat digunakan (Wang dkk., 2014).
 - e. Dapat meningkatkan akurasi peringatan dan meningkatkan kemampuan pengambil keputusan untuk memantau status daerah kebakaran secara *real time*. *BIM* juga digunakan untuk membangun sensor api dan monitor dalam model bangunan. Pencegahan kebakaran sistem dikembangkan dan data nyata dimasukkan untuk memverifikasi fungsi sistem (Cheng dkk., 2017).
 - f. Membangun sensor api dan melakukan monitor dalam model bangunan. Teknologi *BIM* dapat membangun, mengirimkan serta mengakses informasi peralatan kebakaran secara efektif dan cepat, sehingga meningkatkan efisiensi dan akurasi pengawasan peralatan kebakaran. *BIM* juga dapat memastikan bahwa kemampuan pencegahan dan pengendalian kebakaran memiliki dasar ilmiah yang lebih intuitif (Wang dkk., 2021).
 - g. *BIM* mampu menyimpan informasi dari sejumlah perangkat sistem proteksi kebakaran. Pemantauan dan pengambilan keputusan dalam merawat peralatan dengan menggunakan teknologi sehari-hari, terhubung dengan internet, gadget dan server membuat penghuni, pengunjung, pemilik dan petugas pemadam mampu mengakses database peralatan sistem proteksi kebakaran dari lokasi manapun (Nugroho dkk., 2020).

Terlihat pada hasil yang didapat di atas, peran penggunaan *BIM* untuk keperluan *fire safety* lebih banyak pada saat pasca konstruksi, karena *BIM* yang digunakan sebagai strategi keselamatan bahaya kebakaran bangunan gedung tinggi lebih terfokus pada monitoring dan penyimpanan data. Pada tahap pasca konstruksi juga, penggunaan *BIM* dijadikan sebagai pendidikan keselamatan dengan

menyediakan representasi 3D untuk memperlihatkan jalur evakuasi dan area berbahaya. Oleh karena itu, penggunaan *BIM* tersebut dapat memudahkan pemilik, pengguna dan petugas kebakaran untuk menghindari atau mengurangi kerugian harta dan jiwa.

Pada saat pra konstruksi *BIM* sebagai strategi keselamatan bahaya kebakaran lebih terfokus pada perencanaan dan desain. Simulasi evakuasi dan perencanaan rute pelarian berbasis 3D merupakan contoh penggunaan *BIM* pada tahap pra konstruksi. Manajemen keselamatan dilakukan dengan kerja sama dengan berbagai disiplin ilmu.

Pada tahap konstruksi, yang menjadi fokus penggunaan *BIM* adalah memeriksa kembali hasil output perencana apakah dapat diterima atau memerlukan penyesuaian. Dengan membandingkan kondisi dan keadaan secara langsung di lapangan dengan rencana yang telah dibuat pada tahap perencanaan akan menghasilkan hasil akhir yang lebih akurat dan efisien. Contohnya adalah objek bangunan dan penilaian evakuasi.

4.2 Peralatan/Pekerjaan yang Mendukung Penggunaan *BIM*

Berdasarkan hasil dari pengkajian literatur, didapat peralatan/pekerjaan *fire safety* yang mendukung penggunaan *BIM*, yaitu:

1. Simulasi evakuasi kebakaran berbasis multi agen, simulasi evakuasi kebakaran mampu melakukan evaluasi terhadap desain dan perubahan terhadap salah satu fasilitas pendukung evakuasi yakni pintu keluar dengan penempatan pintu yang berbeda dengan kondisi eksisting Gedung dan penambahan lebar pintu berdasarkan hasil jumlah manusia yang selamat dan jumlah korban (Freska Rolansa dan Azharu SN, 2015)
2. Pencegahan kebakaran menggunakan modul berbasis Arduino, mampu mendeteksi kondisi awal terjadinya kebakaran yaitu jika ada suhu asap dan api yang melebihi nilai ambang batas aman (Rahman, 2019)
3. Tanggap darurat kebakaran gedung menggunakan algoritma lokalisasi ruangan, memberikan solusi lokalisasi dalam ruangan yang menjanjikan untuk membangun operasi tanggap darurat kebakaran (Li dkk., 2014)
4. *Internet of things* (IoT), dapat merancang sistem pemadam kebakaran dini yang dapat menampilkan data yang dibutuhkan dan laporan yang benar, sistem dapat mendeteksi sebelum api menyebar dan menyebabkan kerusakan (Eltom dkk., 2018)
5. *Fire Dynamic Simulator* (*FDS*) yang berguna untuk mensimulasikan skenario kebakaran dan *Agent-Based Simulation* (*ABS*) untuk simulasi kerumunan dan pembuatan jalur evakuasi. *FDS*

- dan *ABS* menyediakan *data base* yang digunakan untuk pemilihan jalur evakuasi dengan cerdas dan *real time* (Rania Wehbe dan Isam Shahrour, 2021).
6. Sistem proteksi kebakaran berbasis jaringan sensor nirkabel dengan peringatan melalui SMS dapat mendeteksi asap yang mampu membedakan alarm nyata dan palsu yang memicu alarm, kemudian dapat mengirim pesan bahaya melalui jaringan seluler dan otomatis memutus aliran listrik apabila terjadi kebakaran (Okokpujie dkk., 2019)
 7. Rekayasa keselamatan kebakaran menggunakan desain generatif tersedia di semua tahap *BIM*, dengan lebih banyak kebebasan parametrik dalam tahap desain awal. Cara cepat mengeksplorasi kemungkinan desain atau optimasi dilakukan dengan menggabungkan algoritma dengan pemodelan parametrik (Lovreglio dkk., 2021).
 8. Integrasi informasi spasial dan visual 3D *BIM* dengan jaringan sensor berbasis *bluetooth*, desain dengan bantuan informasi lokasi, perencanaan rute evakuasi, penyelamatan yang optimal dan aplikasi seluler untuk panduan evakuasi untuk membantu pengungsi, petugas pemadam dan pemilik selama tahap respon dini bencana kebakaran (Cheng dkk., 2017)
 9. Penggunaan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) yang merupakan sebuah metode pengukuran dengan memanfaatkan cahaya laser untuk mengukur jarak ruangan (Putra dkk., 2021).
 10. *Pathfinder* merupakan aplikasi simulator evakuasi dengan menggunakan teknik dari penelitian ilmu komputer untuk memodelkan pergerakan individu (Putra dkk., 2021)
 11. *Platform* 3D GIS yang dapat digabungkan dengan *BIM* untuk membuat simulasi evakuasi dan simulasi kebakaran. Selain itu, 3D GIS dan *BIM* mampu menyediakan multi-level dan jumlah informasi geospasial dalam ruangan dan membantu tugas manajemen untuk mendukung respon kebakaran dengan mempertimbangkan fungsi dalam atau luar ruangan (Jianyong Shi dan Pai Lu, 2014)
 12. Penggunaan *virtual reality* (VR) digunakan sebagai pelatihan kebakaran, memungkinkan pembuatan lingkungan pelatihan yang besar dan kompleks, maka pelatihan berisiko tinggi dapat dilakukan dengan cara yang aman dan hemat biaya (Chen dkk., 2021).
 13. Penggunaan *augmented reality* (AR), dengan AR, menempatkan petunjuk virtual seperti keterangan suhu, konsentrasi oksigen dan lokasi kebakaran ke lingkungan nyata. Pemantauan dan peringatan secara dinamis,

serta navigasi rute secara *real time* (Chen dkk., 2021)

Peralatan/pekerjaan yang dapat mendukung penggunaan *BIM* sebagai strategi peningkatan keselamatan kebakaran pada penelitian ini mengacu pada sistem proteksi kebakaran yaitu, kelengkapan tapak, sarana penyelamatan, sistem proteksi aktif dan sistem proteksi pasif.

Dari hasil yang didapat pada penelitian ini, dilakukan validasi terhadap para ahli *BIM* dan *fire safety* dengan cara wawancara. Namun, sampai dengan artikel ini di publikasikan, wawancara belum dapat terlaksana karena berbagai hal. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini belum terverifikasi oleh pakar terkait bidangnya masing-masing, hasil penelitian masih berdasarkan analisa dan pemikiran penulis dari berbagai literatur yang telah dikaji.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *literature review*, beberapa kesimpulan dapat diperoleh sebagai berikut:

1. *BIM* dapat diaplikasikan di setiap tahap konstruksi, yaitu tahap pra-konstruksi, konstruksi dan pasca konstruksi. Peran *BIM* pada setiap tahap konstruksi khususnya sebagai strategi peningkatan keselamatan bahaya kebakaran pada bangunan gedung tinggi, dapat dibangun dengan mengacu pada dimensi dan peran *BIM*.
2. Peran *BIM* lebih berpengaruh pada tahap pasca konstruksi. Peran *BIM* pada tahap pasca konstruksi berfokus pada penyimpanan data, monitoring dan perawatan alat-alat *fire safety*. Pemilik dan pengguna bangunan dan petugas pemadam dapat meminimalisir kerugian harta maupun jiwa.
3. Peran *BIM* pada tahap pra konstruksi berfokus pada perencanaan dan perancangan. Simulasi evakuasi dan rencana keselamatan merupakan salah satu contoh penggunaan *BIM* pada tahap pra konstruksi.
4. Pada tahap konstruksi, peran *BIM* berfokus pada peninjauan kembali hasil rancangan apakah hasil yang telah dibuat dapat diaplikasikan di lapangan secara langsung atau memerlukan penyesuaian karena adanya clash antar pekerjaan. Hal ini dapat memberikan hasil akhir yang lebih akurat dan efisien karena adanya *clash detection*.
5. Peralatan dan pekerjaan yang dapat mendukung penggunaan *BIM* berkaitan dengan sistem proteksi kebakaran yaitu, kelengkapan tapak, sarana penyelamatan, sistem proteksi aktif, serta sistem proteksi pasif. Pendekatan dilakukan dengan simulasi,

virtual reality, augmented reality, dan pemanfaatan digital lainnya.

Saran pada penelitian ini adalah penggunaan *BIM* sebagai strategi keselamatan bahaya kebakaran pada bangunan gedung tinggi lebih dikembangkan dengan kombinasi antara lebih banyak kajian literatur dan mendorong adanya kebijakan dan regulasi dari pemerintah yang lebih concern terhadap persyaratan *fire safety*. Dengan adanya kajian teknis dan regulasi maka penggunaannya bisa dieksekusi pada tahap penyelenggaraan bangunan gedung tinggi.

Penelitian selanjutnya disarankan kajian penggunaan *BIM* menggunakan atau mengacu pada aturan-aturan dan ketentuan yang berlaku di dalam dan luar negeri. Dengan begitu, hasil yang didapat akan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachri, Affan. (2017). Rancang Bangun Sistem Deteksi Kebakaran Gedung di Universitas Islam Lamongan Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Radio Frekuensi. *JE-Unisla Program Studi Elektro*, 1-6.
- Chen, Albert Y. & Chu, James C. (2015). TDVRP and *BIM* Integrated Approach for in-Building Emergency Rescue Routing. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 1-11.
- Chen, H. H. (2021). Development of *BIM*, IoT and AR/VR Technologies for Fire Safety and Upskilling. *Elsevier Automation in Construction*, 1-13.
- Cheng, Min-Yuan. Chiu, Kuan-Chang. Hsieh, Yo-Ming. Yang, I-Tung. Chou, Jui-Sheng. Wu, Yu-Wei. (2017). *BIM* Integrated Smart Monitoring Technique for Building Fire Prevention and Disaster Relief. *Elsevier Automation in Construction*, 14-30.
- Choi, J. C. (2014). Development of *BIM*-Based Evacuation Regulation Checking System for High-Rise and Complex Building. *Elsevier Automation in Construction*, 38-49.
- Deng, Hui. Ou, Zhibin. Zhang, Genjie. Deng, Yichuan. Tian Mao. (2021). *BIM* and Computer Vision-Based Framework for Fire Emergency Evacuation Considering Local Safety Performance. *Medicine, Computer Science*, 1-25.
- Eltom, Rammah H. Hamood, Enan A. Mohammed, AbdAlrahman A. Osman, Abdallah A. (2018). Early Warning Firefighting System Using Internet of Things. 2018 *International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEE)*, 1-6.
- Lovreglio, Ruggiero. Thompson, Pete. Feng, Zhenan. (2021). Automation in Fire Safety Engineering Using *BIM* and Generative Design. *Fire Technology*, 1-5.
- Mubasir, Yazid. (2020). Literasi Teknologi: Desain Prototype untuk Mendeteksi Bencana Kebakaran Menggunakan Teknologi IoT Berbasis Raspberry Pi. *VARIABEL*, 57-65.
- Nugroho, Paulus. Latief, Yusuf. Wibowo, Wahyu. (2020). Conceptual Framework for Fire Safety Management Implementation Strategy to Determine Realistic Fire Insurance Premium Cost. In *Proceedings of APCORISE 2020 conference*. ACM, Depok, West Java, Indonesia, 1-6.
- Okokpujie, Kennedy. Noma-Osaghae, Etinosa. Jhon, Samuel. Okokpujie, Imhade P. (2019). A Wireless Sensor Network Based Fire Protection System with Sms Alerts. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 44-52.
- Pranoto, Ponco Wali & Anggowati, Rovadita. (2018). Sistem Pendeteksi Dini Kebakaran Gedung Berbasis Zigbee Mesh Network. *ELINVO (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 65-72.
- Putra, Farhan Ardianzaf. Sukmono, Abdi. Bashit, Nurhadi;. (2021). Analisis Simulasi Evakuasi Bencana Kebakaran Berbasis Building Information Model (*BIM*). *Jurnal Geodesi Undip*, 47-57.
- Samuel, Yosua P. Latief, Yusuf. Muslim, Fadhilah. Nugroho, Paulus. (2021). Fire Insurance Premium Estimation Model On High Rise Buildings That Serve As Office in Jakarta to Generate Realistic Premium Cost. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 7-9.
- Sergi, Ilaria. Malagnino, Ada. Rosito, Roberto Conte. Lacasa, Vincenzo. Corallo, Angelo. Patrono, Luigi. (2020). *Integrating BIM and IoT Technologies in Innovative Fire Managements System*. 2020 *5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, 1-5.
- Shankar, M. Vijay & Asis, A. Allwyn Clarence. (2018). A Wireless Overload Monitoring and Fire Prevention System for Building Electrical Network. *3rd International Conference on "Advance Manufacturing and Automation" (INCAMA-2018)*, 1-9.
- Shi, Jianyong & Liu, Pai. (2014). An Agent-Based Evacuation Model to Support Fire Safety Design Based on an Integrated 3D GIS and *BIM* Platform. *Computing In Civil and Building Engineering*, 1893-1900.
- Shiau, Yan-Chyuan. Lu, Liang-Ting. Chang, Chong-Teng. (2012). Combine *BIM* to Develop Intelligent Building Fire Prevention Monitoring System. *Proceedings of the 2012*

- Third International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*, 1-4.
- Shiau, Yan-Chyuan. Tsai, Yi-Yin. Hsiao, Jui-Ying. Chang, Chong-Teng. (2013). Development of Building Fire Control and Management System in *BIM* Environment. *Studies in Informatics and Control*, 15-24.
- Wang, Bin. Li, Haijiang. Rezgui, Yacine. Bradley, Alex. Ong, Hoang.N. (2014). *BIM* Based Virtual Environment for Fire Emergency Evacuation. *The Scientific World Journal*, 1-22.
- Wang, Luqi. Li, Wenxian. Feng, Weimin. Yang , Ruiyin. (2021). Fire Risk Assessment for Building Operation and Maintenance Based on *BIM* Technology. *Elsevier Building and Environment*, 1-15.
- Wang, Shih-Hsu. Wang, Wei-Chih. Wang, Kun-Chi. Shih, Shih-yu. (2015). Applying Building Information Modeling to Support Fire Safety Management. *Elsevier Automation in Construction*, 158-167.