

Analisis risiko kebakaran dalam siklus penyelenggaraan bangunan gedung

Yulianto Sulistyono Nugroho^{a,1}, Reza Adyanto Nugroho^a, Muhammad Rifqi Putrawijaya^a, Ahmad Syihan Auzani^a, dan Muhammad Agung Santoso^a

^aDepartemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok, 16424

¹yulianto.nugroho@ui.ac.id

ABSTRACT

Fire incidents in buildings that function as public service centers, such as hospitals, schools, markets, and office/business buildings, and residential buildings, such as flats and houses, continue to occur and are a real threat to society. The risk of fire in public buildings is influenced by the function/utilization, design, construction, and location of the building, as well as prevention and maintenance efforts for the building and its surrounding environment as a series of building management. The stages of building management start from the technical planning stage, construction implementation, acceptance testing activities, utilization and maintenance of the building until demolition when the building has reached the end of its technical life, or there is a plan to use the land for other functions. The impact of fires in public buildings can directly endanger the safety of the lives of occupants and property contained therein. Buildings' Fire safety features include life-saving facilities, selection of materials and passive fire protection systems, fire detection and alarm systems, fire smoke control systems, fire suppression/extinguishing systems, building management systems, and fire extinguisher access. This paper will present the method of fire risk analysis in the building construction cycle, the main features that can affect the risk, and some case studies that can be studied from previous fire events.

Keywords: Fire Risk Analysis, Building, Fire Protection System

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: [10.71452/590518](https://doi.org/10.71452/590518)

PENDAHULUAN

Keandalan bangunan gedung merupakan kriteria yang wajib dipenuhi oleh bangunan gedung yang akan digunakan untuk kepentingan publik, maupun untuk kepentingan pribadi. Tahap penyelenggaraan bangunan gedung dimulai dari tahap perencanaan teknis, pelaksanaan konstruksi, kegiatan pengujian penerimaan, pemanfaatan dan pemeliharaan bangunan gedung hingga pembongkaran pada saat bangunan gedung sudah mencapai akhir masa teknisnya atau terdapat rencana pemanfaatan lahan untuk fungsi lainnya.

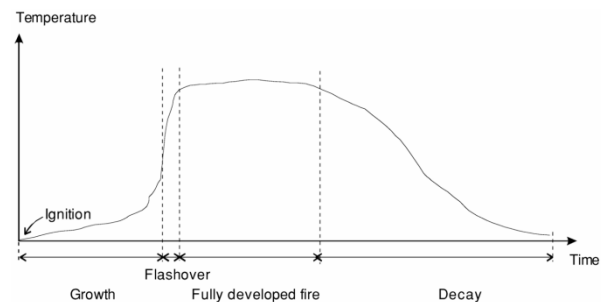
Perencanaan dan strategi keselamatan kebakaran merupakan langkah penting dalam menjamin keberlangsungan suatu bangunan atau wilayah perkotaan. Suatu peristiwa kebakaran, selain dapat menyebabkan jatuhnya korban jiwa, juga mengakibatkan rugi ekonomi yang sangat signifikan.

Berbagai statistik kerugian kebakaran yang terjadi di banyak negara dapat memberikan gambaran pentingnya merencanakan kegiatan analisis risiko kebakaran dalam siklus penyelenggaraan bangunan gedung sehingga dapat menunjang pencegahan dan penanggulangan kebakaran yang lebih baik. Analisis Risiko kebakaran merupakan upaya sistematis untuk menggambarkan kemungkinan terjadinya kebakaran

dan menganalisis besarnya konsekuensi atau dampak yang dapat ditimbulkan terjadinya kebakaran pada keselamatan manusia dan kerugian harta benda.

METODE ANALISIS RISIKO KEBAKARAN

Peristiwa kebakaran dalam suatu ruangan / bangunan kebakaran gedung dapat menimbulkan peningkatan temperatur akibat terjadinya pelepasan kalor dari material mampu bakar yang terbakar di dalam ruangan tersebut. Ilustrasi hubungan antara peningkatan temperatur sebagai fungsi waktu terjadinya kebakaran, diberikan pada Gambar 1, di bawah ini.



Gambar 1. Ilustrasi pertumbuhan temperature pada ruangan yang mengalami kebakaran [1].

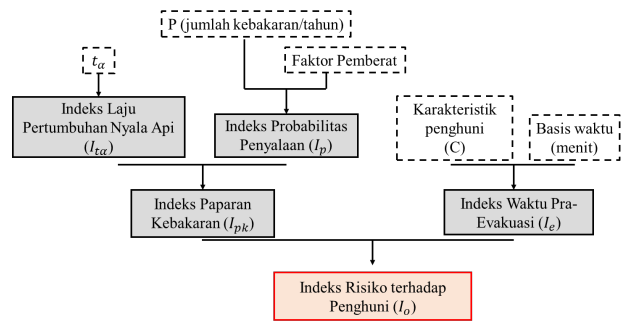
Dalam ilustrasi ini tampak bahwa karakteristik pertumbuhan kebakaran dalam ruangan dapat dibagi

menjadi tiga periode utama, yaitu: (i) periode pertumbuhan nyala api, (ii) periode kebakaran *fully-developed* yang ditandai dengan laju pelepasan panas maksimal, dan munculnya fenomena *flashover*, dan (iii) periode menurunnya intensitas kebakaran yang ditandai dengan turunnya laju pelepasan panas disebabkan oleh material mampu bakar yang telah habis terbakar.

Untuk bangunan gedung yang dihuni oleh manusia, maka pola pertumbuhan kebakaran seperti diilustrasikan pada Gambar 1, memberikan risiko kebakaran pada manusia, bangunan dan harta benda yang ada di dalamnya. Apabila kebakaran tidak dapat ditangani dengan segera dan menyebar kepada bangunan dan objek lain yang ada di sekitarnya, maka dapat terjadi kebakaran pemukiman dan wilayah.

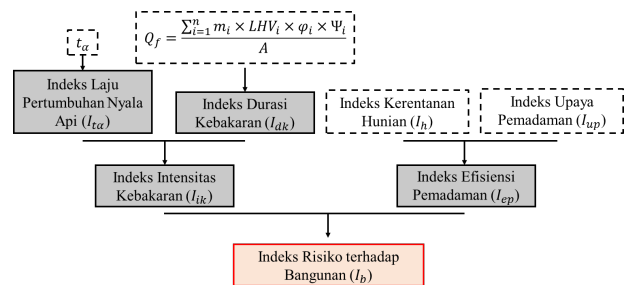
Analisis risiko kebakaran semi-kuantitatif FLAME [2] merupakan perkembangan lanjut dari metode analisis risiko kebakaran FRAME dan FRA-mini [3–5]. FLAME menerapkan Fire Safety Concept Tree [6] secara sederhana, dengan tetap mempertimbangkan aspek fundamental keselamatan kebakaran seperti laju pertumbuhan kebakaran, durasi kebakaran, karakteristik penghuni dan peringatan dini kondisi darurat, konfigurasi bangunan, dan efektifitas pengendalian kebakaran. Metode FLAME seperti yang disusun oleh Danzi et al. [2] hanya dapat menghasilkan analisis risiko untuk bangunan gedung.

Dengan menggunakan metode FLAME [2], dapat dilakukan kajian risiko kebakaran pada penghuni dan kajian risiko kebakaran pada bangunan gedung dan harta benda di dalamnya. Kajian risiko pada penghuni digambarkan dalam Gambar 1 sebagai kondisi dimulainya peristiwa penyulutan (*ignition*) sebagai pemicu kejadian kebakaran hingga *flashover* terjadi. Pada periode ini risiko terhadap penghuni dipengaruhi oleh faktor utama yang berperan, yaitu besarnya paparan kebakaran (I_{pk}) yang dipengaruhi oleh seberapa cepat laju penyalan api ($I_{\dot{w}}$), dan berapa probabilitas penyalan dapat terjadi (I_p); serta seberapa cepat respons penghuni pada peristiwa kebakaran (I_c), yang dipengaruhi oleh karakteristik penghuni (C) dan basis ketersediaan waktu untuk dapat melakukan evakuasi, sebagaimana digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Keterkaitan indeks risiko penghuni [2].

Pada periode selanjutnya pasca peristiwa *flashover*, maka risiko kebakaran berlanjut menjadi risiko pada kekuatan bangunan gedung dan harta benda yang ada di dalamnya. Risiko pada bangunan gedung (I_b) ditentukan oleh besarnya intensitas kebakaran (I_{ik}) yang dipengaruhi oleh seberapa cepat laju penyalan api ($I_{\dot{w}}$), dan durasi kebakaran yang dapat berlangsung (I_{dk}); serta tingkat efisiensi/efektivitas pemadaman (I_{ep}) yang dipengaruhi oleh nilai kerentanan hunian/gedung (I_h) dan upaya pemadaman yang dapat dilakukan (I_{up}). Gambar 3 memberikan ilustrasi keterkaitan indeks Risiko kebakaran pada bangunan gedung dan factor-faktor yang mempengaruhinya.



Gambar 3 Ilustrasi keterkaitan indeks risiko kebakaran pada bangunan gedung [2].

Danzi et al. [2] telah memberikan gambaran mengenai besarnya nilai berbagai karakteristik yang berkaitan dengan waktu penghuni saat melakukan respons pra-evakuasi, probabilitas penyalan, karakteristik laju pertumbuhan nyala, karakteristik penghuni dsb. Berbagai karakteristik ini sangat dipengaruhi oleh tingkat kepedulian, tingkat pelatihan, kecepatan respons, dan statistik kebakaran di suatu negara. Namun demikian, metodologi yang diberikan dapat dipergunakan sebagai suatu pendekatan komprehensif dalam melakukan analisis risiko kebakaran pada berbagai tahapan siklus penyelenggaraan bangunan gedung.

Untuk memperkaya pengetahuan dalam melakukan analisis risiko kebakaran pada siklus penyelenggaraan bangunan gedung, maka pada bagian berikut ini akan diberikan butir-butir upaya yang dapat digunakan

untuk menekan risiko kebakaran bangunan gedung mulai dari tahap (i) perencanaan dan konstruksi, (ii) operasi dan pemeliharaan, dan (iii) rehabilitasi dan renovasi bangunan gedung.

ANALISIS RISIKO KEBAKARAN DALAM SIKLUS PENYELENGGARAAN BANGUNAN GEDUNG

A. Analisis Risiko Kebakaran pada Tahap Perencanaan dan Konstruksi

Tahap perencanaan dan konstruksi merupakan tahapan yang sangat penting bagi tercapainya kondisi keselamatan bangunan gedung. Mengingat pada tahapan ini dilakukan perumusan fungsi dan karakteristik bangunan gedung dan tempat kedudukan bangunan gedung pada fasilitas kota termasuk jalan raya, fasilitas publik lain (infrastruktur) yang telah ada sebelumnya. Pada fase perencanaan dan konstruksi juga berlangsung proses yang melibatkan pemilik, perencana, pelaksana pembangunan, dan otoritas terkait.

Pada tahap perencanaan dan konstruksi risiko kebakaran pada penghuni dan bangunan gedung dirumuskan dalam bentuk penyediaan seluruh fitur keselamatan kebakaran bangunan gedung, antara lain: (i) penyediaan sarana penyelamatan jiwa, (ii) sistem proteksi kebakaran pasif, (iii) sistem proteksi kebakaran aktif, (iv) akses petugas pemadam kebakaran, dan (v) gambaran sistem manajemen keselamatan kebakaran.

Untuk itu pertimbangan analisis risiko kebakaran bagi penghuni dan bagi bangunan gedung, serta pertimbangan pada faktor-faktor yang keterkaitan seperti tergambar pada Gambar 2 dan 3, perlu dirumuskan dengan seksama, melalui beberapa butir catatan seperti dituangkan pada bagian berikut ini.

I. Deskripsi proyek :

1. Penjelasan singkat dari pemilik proyek tentang proyek bangunan gedung yang dikembangkan
2. Laporan / deskripsi proyek dengan gambaran singkat tentang fasilitas yang disediakan :
 - a. Lokasi proyek pembangunan, ketersediaan hydrant kota dan lokasi pos pemadam kebakaran terdekat;
 - b. Fungsi bangunan gedung dengan uraian singkat tentang kegiatan yang akan dilakukan;

- c. Perkiraan jumlah penghuni (beban hunian) dan demografi;
- d. Material bangunan yang akan digunakan.

II. Data bangunan :

1. Laporan pola, gubahan, dan bentuk bangunan gedung dalam bentuk gambar, yaitu :
 - a. Rencana massa bangunan gedung;
 - b. Rencana tapak;
 - c. Denah;
 - d. Tampak bangunan gedung;
 - e. Potongan bangunan gedung; dan
 - f. Visualisasi desain tiga dimensi.
2. Laporan aspek kualitatif serta aspek kuantitatif, baik dalam bentuk laporan tertulis dan gambar seperti :
 - a. Jumlah lantai, ketinggian bangunan gedung (meter), jumlah basemen, kedalaman basemen (meter);
 - b. Perkiraan luas lantai;
 - c. Informasi penggunaan material;
 - d. Sistem konstruksi (konstruksi beton bertulang, konstruksi baja, dsb).

III. Kriteria desain, kriteria penerimaan untuk *commissioning test*, referensi peraturan dan standar (SNI) sistem keselamatan dan proteksi kebakaran.

IV. Skenario kebakaran :

1. Identifikasi fungsi bangunan dan ruangan, material isi bangunan gedung dan tingkat risiko kebakarannya.
2. Identifikasi aktivitas penghuni, dan lokasi sistem utilitas bangunan gedung dan penggunaan material bangunan dengan tingkat risiko kebakaran yang tinggi dan menghasilkan asap yang berbahaya.
3. Berdasarkan kompleksitas rancangan bangunan gedung dan hasil identifikasi skenario kebakaran, penggunaan pemodelan kebakaran (*fire modeling*) untuk mendapatkan gambaran mengenai perkembangan asap kebakaran dan penjalaran kebakaran. Hasil pemodelan dinamika asap dan kebakaran dapat menjadi pertimbangan dalam pengembangan fitur desain bangunan gedung.

V. Strategi penyelamatan jiwa :

1. Deskripsi strategi penyelamatan jiwa penghuni menuju tempat berhimpun, penyediaan *area of refuge*, *refuge floor*, serta mencakup deskripsi rute penyelamatan yang akan diambil oleh penghuni di dalam gedung sesuai skenario kebakaran pada Butir 4.

2. Deskripsi, desain peletakan, jumlah sarana penyelamatan jiwa, dan pressurisasi tangga kebakaran, untuk menjangkau seluruh bagian gedung.
3. Deskripsi sarana peringatan dini (sistem deteksi dan sistem alarm kebakaran); catu daya darurat; penerangan evakuasi darurat; sistem komunikasi suara darurat; pengendalian darurat untuk lif.
4. Deskripsi strategi ditunjukkan dengan pemodelan evakuasi (*evacuation modelling*) awal untuk desain bangunan gedung yang kompleks dan jumlah total penghuni > 250 orang.

VI. Strategi pengendalian asap dan api kebakaran pada bangunan gedung :

1. Deskripsi strategi kompartemenisasi asap dan api kebakaran (pada *basement*, ruang berukuran besar, lantai tipikal dan atrium).
2. Deskripsi mengenai sistem pembuangan asap kebakaran (*basement*, atrium, lantai tipikal, ruang berukuran besar, ruang utilitas: ruang electric/trafo/capacitor bank, dsb.)
3. Deskripsi strategi pencegahan penyebaran api pada arah vertikal dan horizontal di dalam dan di luar bangunan gedung.

VII. Strategi proteksi kebakaran berbasis air dan khusus (*clean agent*, dsb.) :

1. Deskripsi mengenai strategi proteksi kebakaran berbasis air (sistem zona tunggal, zona jamak)
2. Peletakan tangki air, ruang pompa, jenis pompa.

VIII. Strategi penyediaan akses petugas dan sirkulasi kendaraan pemadam kebakaran dan penyelamatan:

1. Strategi untuk penyediaan akses petugas pemadam kebakaran dan penyelamatan.
2. Strategi desain sirkulasi kendaraan pemadam kebakaran dan penyelamatan.
3. Strategi penyediaan *fire command centre* (FCC).

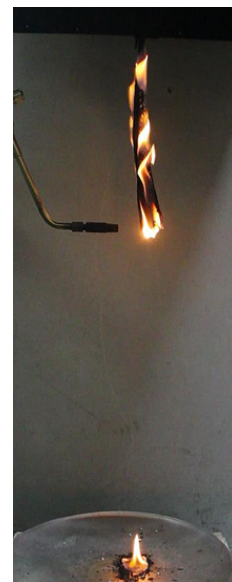
IX. Pertimbangan kemudahan kegiatan inspeksi, pengujian dan pemeliharaan.

- Deskripsi mengenai pentingnya akses untuk memfasilitasi kegiatan inspeksi, pengujian dan pemeliharaan sistem keselamatan dan proteksi kebakaran.

Butir I s.d. IX di atas merupakan cuplikan dari garis besar daftar simak yang dipergunakan oleh Tim Profesi Ahli (TPA) di wilayah DKI Jakarta dalam

memeriksa usulan rancangan bangunan gedung untuk aspek sistem proteksi kebakaran. Dalam dokumen usulan yang diajukan juga disertai dengan gambar rancangan bangunan gedung dan sistem proteksi kebakaran sesuai butir penjelasan yang diberikan. Pada tahap konsultasi selanjutnya, perencana akan memberikan detail perhitungan hidrolis sistem proteksi kebakaran beserta dengan gambar detail perancangan sistem, sesuai dengan standar (SNI) yang digunakan dan peraturan yang berlaku.

Penjaminan mutu terhadap fase perencanaan dan konstruksi bangunan gedung perlu dilakukan dengan seksama mengingat kompleksitas keterkaitan antara Butir I s.d. IX di atas. Selanjutnya tahapan penting yang juga harus ditempuh sebelum memasuki fase operasional dan pemeliharaan adalah diselenggarakannya pengujian serah terima atau *commissioning tests*. Pengujian serah terima pada berbagai sistem yang ada di dalam bangunan gedung sesungguhnya dilaksanakan secara menerus sejak awal masa konstruksi dan pengadaan barang & jasa; termasuk dalam fase instalasi peralatan mekanikal elektrikal plambing dan proteksi kebakaran, melalui pengujian kinerja elemen dan dilanjutkan dengan pengujian kinerja sistem terintegrasi. Pengujian serah terima disertai dengan penyediaan gambar terbangun (*as built drawings*) menjadi tahap amat penting dalam alih tanggung jawab menuju tahap operasional.



Gambar 4 Pengujian material selubung bangunan terbuat dari aluminium composite panel (ACP) [7]

Gambar 4 memperlihatkan proses pengujian penyulutan material selubung bangunan. Terjadinya tetesan menunjukkan risiko kebakaran yang lebih tinggi dari penggunaan material bangunan ini, mengingat terjadinya tetesan dapat menimbulkan titik penyalan baru pada suatu peristiwa kebakaran

gedung. Kajian mengenai tingkat risiko kebakaran material penting dilakukan dalam fase Perencanaan dan konstruksi bangunan gedung.

B. Analisis Risiko Kebakaran pada Tahap Operasional dan Pemeliharaan

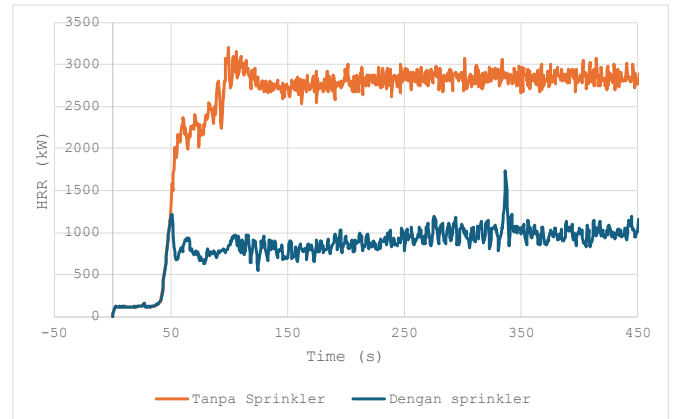
Dokumen hasil pengujian serah terima (*commissioning tests*), yang menggambarkan kinerja sistem, *as built drawings* dan *equipment lists*, serta berbagai buku manual merupakan referensi utama dalam pelaksanaan operasional dan pemeliharaan bangunan gedung, termasuk sistem proteksi kebakaran yang terpasang tetap maupun tidak terpasang tetap (*portable*).

Untuk menjamin kesinambungan dan respons yang cepat pada kondisi darurat maka tahap operasional juga dilengkapi dengan pengembangan sistem manajemen keselamatan kebakaran internal bangunan gedung, maupun kerjasama eksternal dengan pihak pemadam kebakaran terdekat, layanan ambulan, maupun dengan manajemen bangunan gedung yang ada di sekitarnya. Kegiatan pemeliharaan rutin terhadap sistem proteksi kebakaran dan pelatihan terhadap tim respons cepat bangunan gedung serta pelaksanaan analisis keselamatan kebakaran secara berkelanjutan diupayakan melalui penyusunan perencanaan tahunan, maupun pengujian rutin terhadap fungsi sistem secara menyeluruh.

Perubahan fungsi bangunan gedung, yang berpotensi pada peningkatan risiko kebakaran perlu diantisipasi dalam bentuk pengkajian/analisis risiko kebakaran terhadap penghuni/pengguna maupun pada bangunan gedung dan isinya. Kemampuan dan kinerja sistem proteksi kebakaran yang dipasang tetap, merupakan batasan diijinkannya perubahan fungsi dan peruntukan ruangan maupun perubahan isi bangunan.



Gambar 5 Rancangan tipikal unit apartemen [8]



Gambar 6 Pengaruh aktivasi sprinkler pada pertumbuhan laju pelepasan kalor [8].

Gambar 5 dan 6 memperlihatkan pengaruh aktivasi sprinkler dalam menurunkan besarnya laju pelepasan kalor pada kebakaran di dalam unit apartemen. Hasil pemodelan ini menunjukkan pentingnya kegiatan inspeksi, pengujian dan pemeliharaan dilakukan pada komponen pendukung sistem proteksi kebakaran aktif untuk menjamin respons yang tepat dan cepat dalam kondisi darurat kebakaran.

Penyelenggaraan kegiatan operasional dan pemeliharaan yang efektif dan efisien, hanya dapat dilakukan apabila telah tersusun perumusan tingkat layanan, penyediaan sumber daya manusia yang kompeten, tersedianya prosedur operasional baku (POB) operasional dan pemeliharaan, penyediaan peralatan pendukung, penjadwalan, dan pendanaan yang memadai.

C. Analisis Risiko Kebakaran pada Tahap Rehabilitasi dan Renovasi

Rehabilitasi adalah kegiatan perbaikan aset yang rusak sebagian dengan tanpa meningkatkan kualitas dan atau kapasitas agar dapat digunakan sesuai dengan kondisi semula. Renovasi adalah kegiatan perbaikan aset yang rusak atau mengganti yang baik dengan maksud meningkatkan kualitas atau kapasitas aset tersebut.

Tahap rehabilitasi maupun renovasi pada umumnya diselenggarakan setelah bangunan gedung mencapai usia operasional yang cukup panjang. Tahap ini, ditandai dengan telah terjadinya penurunan kinerja sistem, maupun ditandai dengan adanya rencana perubahan fungsi, rancangan interior dan eksterior, atau pergantian material sesuai dengan perkembangan jaman. Dari catatan peristiwa kebakaran di DKI Jakarta dalam beberapa tahun ini, peristiwa kebakaran justru terjadi manakala bangunan gedung sedang mengalami tahap rehabilitasi maupun renovasi secara bertahap maupun secara penuh.

Beberapa faktor yang berpotensi meningkatkan risiko kebakaran pada saat kegiatan rehabilitasi maupun renovasi diselenggarakan antara lain:

1. Diputusnya sistem proteksi kebakaran secara parsial untuk bagian bangunan gedung yang sedang dilaksanakan pekerjaan
2. Kurangnya disiplin kerja karyawan, yang berkaitan dengan penggunaan material perekat, material interior, perkabelan, penghawaan, maupun penyimpanan sampah / buangan fase pekerjaan
3. Kurangnya pengawasan penyelenggaraan pekerjaan dan penyimpanan barang
4. Tidak tersedianya dokumen pelaksanaan pekerjaan yang kredibel dan berbasis risiko
5. Kurangnya fasilitas respons cepat untuk kondisi darurat yang berpotensi terjadi.
6. Tingkat kelelahan pada pekerja proyek akibat penjadwalan yang tidak optimum.

KESIMPULAN

Analisis risiko kebakaran merupakan aktivitas yang melekat pada seluruh tahapan penyelenggaraan bangunan gedung. Kegiatan analisis risiko kebakaran dapat menggambarkan keterkaitan fungsi bangunan gedung, desain dan konstruksi serta penyediaan sarana penyelamatan jiwa dan sistem proteksi kebakaran dalam mencegah dan menanggulangi potensi kebakaran yang dapat terjadi. Analisis risiko kebakaran juga dapat membantu memahami pentingnya pertimbangan keselamatan dalam mempertahankan tingkat layanan (*level of services*), kemudahan operasional dan pemeliharaan sistem utilitas. Keselamatan kebakaran perlu dipenuhi sejak fase desain dan konstruksi, pengujian, operasional dan pemeliharaan, serta pada fase rehabilitasi dan renovasi bangunan gedung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan untuk seluruh anggota penulis dan tim mahasiswa yang telah dan sedang melaksanakan penelitian di dalam grup riset teknik keselamatan kebakaran DTM FTUI.

KONTRIBUSI PENULIS

Y.S. Nugroho berkontribusi dalam mereview dan menulis manuskrip, R.A. Nugroho berkontribusi dalam pengumpulan data, M.R. Putrawijaya berkontribusi dalam pengambilan data dan

pengolahan, A.S. Auzani berkontribusi dalam mereview dan menyusun metode, M.A. Santoso berkontribusi dalam menyusun metode dan membuat gambar diagram.

DANA PENELITIAN

Penulis mengucapkan terima kasih atas Hibah Seed Grant GB dan LK yang diberikan FTUI untuk tahun 2023/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Karlsson, B., J.G. Quintiere, Enclosure fire dynamics, CRC Press LLC ISBN 0-8493-1300-7 (2000).
- [2] Danzi, E. and L. Marmo, FLAME: A Parametric Fire Risk Assessment Method Supporting Performance Based Approaches, Fire Technology, 57, 721–765, 2021, <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01014-9>.
- [3] Gretener M (1968) Ableitung feuerpolizeilicher Massnahmen aus der methodischen Bewertung der Brandgefuehrdung
- [4] De Smet E (2008) Fire risk assessment method for engineering—FRAME method. <http://www.framemethod.net/>
- [5] De Smet E (2013) FRA-mini, spreadsheet application.
- [6] NPFA 550 (2007) Guide to the fire safety concepts. National Fire Protection Association, Quincy, MA.
- [7] Nugroho, R.A., Pengembangan Alat Uji Terintegrasi Skala Laboratorium untuk Pengujian Sifat Kebakaran Material Polimer Selubung Bangunan, Tesis Magister Teknik Mesin Kekhususan Teknologi Keselamatan Kebakaran dan Bangunan, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2024.
- [8] Putrawijaya, M.R., Parametric and Semiquantitative Fire Risk Assessment of an Apartment Building, Undergraduate Thesis of Bachelor of Engineering in Mechanical Engineering Program, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia, 2024.