

Analisis Risiko Kebakaran dengan Menggunakan Metode *Layer of Protection Analysis* pada Gedung Perkantoran PT XYZ

Febi Mardianto, I Putu Artama Wiguna

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Email: febi.mardianto@gmail.com, artama@its.ac.id

Keywords:

fire protection system, fire risk analysis; layer of protection analysis; office building

Abstract

Fires in office buildings are a potential hazard that has a serious impact on human safety, operational disruption, and economic losses. PT XYZ's office building in South Sumatra has a high level of spatial complexity and an existing fire protection system that has not been evaluated quantitatively. This study aims to evaluate the gap of existing fire protection system and to analyse the impact, and mitigation by using the Layer of Protection Analysis (LOPA) methods. The analysis was carried out by identifying initiating events, such as electrical short circuits, equipment overheating, and human error. Each layer of protection is analyzed using LOPA with the Probability of Failure on Demand (PFD) approach. The results of the analysis showed that several existing layers of protection had high (10^{-1}), with final probabilities for the demo room building and ICT building of $6.89 \times 10^{-1}/\text{year}$ and $6.89 \times 10^{-3}/\text{year}$, respectively. These results indicate that the existing protection layers can reduce the initial probability but still remain above the tolerance limit ($10^{-6}/\text{year}$). This research is expected to be a reference in the development of a more reliable and integrated fire protection system in office buildings.

Kata Kunci:

analisis risiko kebakaran; gedung perkantoran; *layer of protection analysis*; sistem proteksi kebakaran

Abstrak

Kebakaran pada gedung perkantoran merupakan potensi bahaya yang berdampak serius terhadap keselamatan manusia, gangguan operasional, dan kerugian ekonomi. Gedung perkantoran PT XYZ di Sumatera Selatan memiliki tingkat kompleksitas ruang yang tinggi serta sistem proteksi kebakaran eksisting yang belum dievaluasi secara kuantitatif. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pemenuhan sistem proteksi kebakaran eksisting dan menganalisis dampak serta pengurangan dampak pada lapisan proteksi yang ada menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA). Analisis dilakukan melalui identifikasi sumber bahaya utama (*initiating event*) seperti korsleting listrik, *overheating* peralatan, dan kelalaian manusia. Setiap lapisan proteksi dianalisis menggunakan LOPA dengan pendekatan *Probability of Failure on Demand* (PFD). Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa lapisan proteksi eksisting memiliki PFD tinggi (10^{-1}) dengan probabilitas akhir pada gedung *demo room* dan gedung ICT masing-masing $6,89 \times 10^{-1}$ per tahun dan pada gedung ICT sebesar $6,89 \times 10^{-3}$ per tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa lapisan proteksi eksisting dapat memberikan penurunan probabilitas awal namun masih berada di atas batas toleransi (10^{-6} per tahun). Penelitian ini diharapkan menjadi acuan dalam pengembangan sistem proteksi kebakaran yang lebih andal dan terintegrasi pada gedung perkantoran.

PENDAHULUAN

Kebakaran adalah kejadian yang tidak dikehendaki dan tidak diduga duga yang tidak hanya mengancam nyawa dan harta benda, tetapi juga mengganggu kelangsungan operasional, yang pada akhirnya berpotensi menimbulkan kerugian finansial yang signifikan bagi perusahaan (Riza et al., 2025). Dalam hal mengelola kebakaran bukan sekedar menyediakan

alat-alat pemadam, atau melakukan latihan pemadaman kebakaran secara berkala setahun sekali, namun memerlukan program terencana dalam suatu sarana yang disebut sistem proteksi kebakaran (Atmojo et al., 2023).

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 36 tahun 2005 tentang Bangunan Gedung menegaskan bahwa setiap bangunan gedung, kecuali rumah tinggal tunggal dan rumah tinggal deret sederhana, harus dilengkapi dengan sistem proteksi kebakaran aktif. Sistem proteksi kebakaran melindungi bangunan gedung dari bahaya kebakaran yang didasarkan pada penyediaan peralatan yang dapat bekerja secara otomatis maupun manual, yang digunakan oleh penghuni maupun petugas pemadam kebakaran dalam melaksanakan operasi pemadaman.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 26 Tahun 2008 tentang Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran pada Bangunan Gedung dan Lingkungan, menegaskan bahwa bahaya kebakaran adalah bahaya yang diakibatkan adanya potensi ancaman dan tingkat paparan terhadap kebakaran mulai dari awal terjadinya kebakaran sampai dengan menjalarnya api yang menimbulkan asap dan gas.

Menurut laporan data dari *National Fire Protection America* (NFPA) selama tahun 2018-2022 untuk kejadian kebakaran dengan kategori hunian atau jenis properti, terdapat 1.371.308 kasus yang menyebabkan 3.690 kematian, 14.992 korban luka-luka dan kerugian properti sebesar \$ 18.251.092.401 (NFPA, 2024).

Pada Permen PU No. 26 Tahun 2008 menjelaskan bahwa persyaratan teknis sistem proteksi kebakaran pada bangunan gedung dan lingkungan hidup mendefinisikan sistem proteksi kebakaran pada bangunan gedung dan lingkungan hidup sebagai suatu sistem yang terdiri dari instalasi terpasang, peralatan, dan instalasi terpasang yang ditempatkan pada bangunan gedung dan digunakan untuk sistem proteksi aktif, sistem proteksi pasif, atau keperluan pengelolaan lainnya.

PT XYZ merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang Eksplorasi Produksi Minyak dan Gas Bumi. PT XYZ dalam kegiatan operasionalnya berada di wilayah Provinsi Sumatera Selatan dengan melalui 9 wilayah administrasi baik kota maupun kabupaten. Kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi yang dimaksud tentunya merupakan keseluruhan proses kompleks yang melibatkan berbagai disiplin ilmu dalam melakukan kegiatan operasionalnya. Selain kegiatan utamanya dalam melakukan eksplorasi minyak dan gas bumi, PT XYZ memiliki gedung perkantoran yang digunakan untuk mendukung kegiatan utama tersebut khususnya aset perusahaan seperti sumber daya manusia, data *center*, dokumen penting perusahaan dan aset perusahaan pendukung lainnya.

Sebagaimana halnya fasilitas produksi, gedung perkantoran juga memiliki potensi terjadinya kebakaran. Banyak penyebab kebakaran yang terjadi diperkantoran yang memiliki banyak aktivitas manusia, peralatan listrik, kondisi dari partisi gedung, baik material maupun dari sebarannya. Gedung perkantoran juga merupakan aset yang harus dikelola dengan baik dari potensi kebakaran karena di gedung perkantoran dihuni oleh aset perusahaan seperti sumber daya manusia, data perusahaan, dokumen penting perusahaan dan aset perusahaan pendukung lainnya.

Komplek perkantoran PT XYZ terdiri dari dari gedung *integrated demo room* dan gedung ICT merupakan gedung lama yang telah mengalami pengembangan untuk dijadikan sebagai gedung yang salah satunya digunakan sebagai sarana pembelajaran penguatan pemahaman terhadap aspek *Health Safety Security Environment* (HSSE) yang terdiri dari ruang auditorium, ruang operator, ruang kelas, dan ruang peraga. Selain gedung *integrated demo room*, juga terdapat gedung ICT yang berfungsi sebagai data *center* perusahaan.

Berdasarkan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), data statistik kejadian kebakaran di gedung perkantoran dan gedung ICT terlihat bahwa angka kejadian kebakaran di gedung perkantoran dan gedung ICT terus meningkat. Total kerugian akibat kebakaran yang terjadi di banyak negara maju di dunia berada pada rentang 0,8 sampai 2 dari GDP (*Gross Domestic Product*) pada masing-masing negara tersebut (Nurjaman et al., 2022)

Jam operasional kompleks perkantoran PT XYZ berlangsung dari hari Senin sampai dengan hari Jumat mulai dari Pukul 07.00 Wib s.d 16.00 Wib. Sedangkan pada malam hari dan akhir pekan tidak ada petugas yang berada di dalam gedung tersebut. Tingkat okupasi gedung *demo room* adalah 28 orang/hari. Sedangkan gedung ICT merupakan gedung data *center* dan jaringan yang dimiliki oleh perusahaan yang juga beroperasi secara harian (senin-jumat).

Komplek perkantoran sudah dilengkapi dengan sistem proteksi kebakaran aktif yang terdiri Alat Pemadam Api Ringan (APAR), mobil pemadam kebakaran, pompa pemadam kebakaran yang berada di area perkantoran Field Limau dan fasilitas pusat pengumpul produksi Field Prabumulih. Alat deteksi seperti detektor asap dan alat pemadaman seperti *water sprinkler*, jalur hidran khusus di area gedung perkantoran tersebut belum tersedia.

Sistem proteksi kebakaran aktif yang tersedia di gedung perkantoran PT XYZ perlu dilakukan evaluasi terhadap pemenuhan minimal sistem proteksi yang mengacu pada PermenPU No. 26 tahun 2008 dan analisis terhadap kemungkinan kejadian lanjutan kebakaran dari setiap proteksi yang dimiliki. Pendekatan *Layer of Protection Analysis* (LOPA) menjadi salah satu metode yang relevan untuk menganalisis lapisan proteksi yang dimiliki di area gedung perkantoran PT XYZ.

Penelitian ini diharapkan memberikan gambaran terhadap lapisan proteksi yang dimiliki dengan penggunaan metode LOPA. Secara akademis, penelitian ini dapat memperkaya literatur tentang analisis kebakaran gedung perkantoran dengan pendekatan LOPA yang belum banyak diterapkan secara luas khususnya di gedung perkantoran. Pendekatan LOPA sering digunakan untuk menganalisis lapisan proteksi pada fasilitas proses.

Penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi kondisi eksisting sistem proteksi kebakaran di area perkantoran PT XYZ dengan mengacu pada pemenuhan minimal sistem proteksi kebakaran bangunan, menganalisis dampak yang terjadi jika sistem proteksi kebakaran tidak terpenuhi, serta menganalisis pengurangan dampak dari beberapa kontrol eksisting yang dimiliki melalui metode LOPA. Secara teoritis, penelitian ini memperkaya literatur tentang analisis risiko kebakaran gedung perkantoran dengan pendekatan LOPA yang belum banyak diterapkan secara luas, khususnya di gedung perkantoran yang sebelumnya lebih sering digunakan pada fasilitas proses industri.

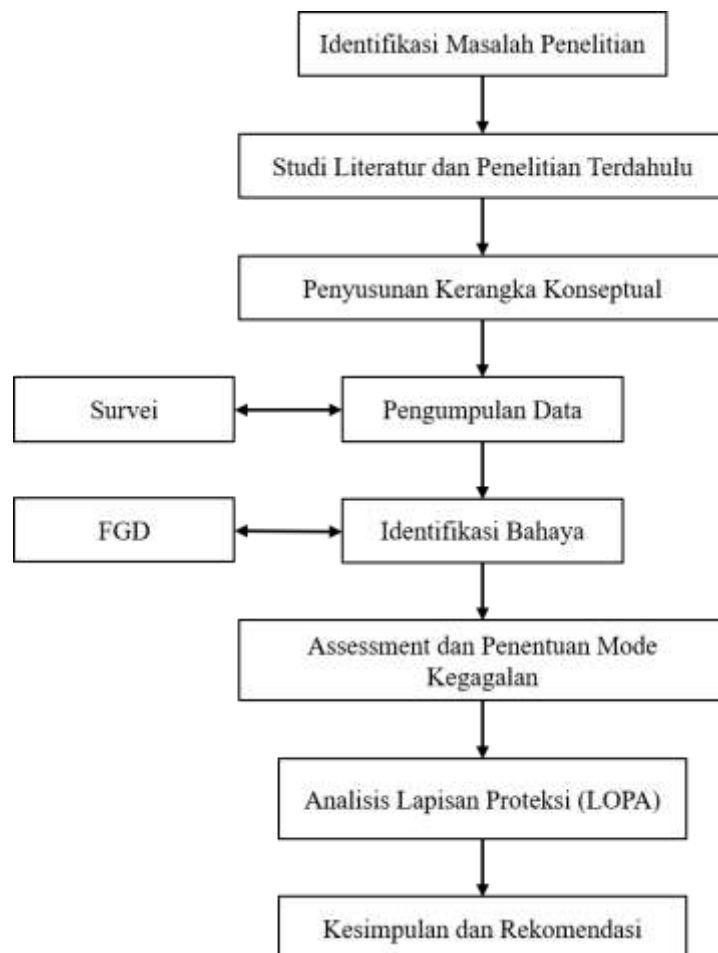
METODE PENELITIAN

Konsep Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksploratif dengan menggunakan data kuantitatif dan kualitatif dalam melakukan analisis untuk mendapatkan solusi atau rekomendasi. Pendekatan ini digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual sistem proteksi kebakaran dan potensi bahaya kebakaran pada gedung perkantoran menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA). LOPA digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi terhadap lapisan proteksi yang dimiliki melalui wawancara dan diskusi tim tanggap darurat dan teknisi gedung yang merupakan bagian dari pendekatan kualitatif.

Alur Metode Penelitian

Pada bab ini akan diuraikan metodologi penelitian yang digunakan dan urutan pelaksanaan penelitian mulai dari identifikasi permasalahan, tujuan penelitian, studi literatur, perancangan penelitian, studi pendahuluan, pengumpulan data, identifikasi bahaya, penentuan mode kegagalan, analisis LOPA, dan kesimpulan seperti yang dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Pengumpulan Data

Pada tahapan ini, peneliti mengumpulkan data dari laporan-laporan operasional di area penelitian sebagai latar belakang masalah, kemudian menelaah dan mempelajari mengenai permasalahan yang terjadi pada objek penelitian.

Secara umum, pengumpulan diperoleh melalui sebagai berikut :

Observasi langsung untuk memperoleh informasi yang relevan terhadap Gedung perkantoran seperti ukuran dan Lokasi Gedung perkantoran, konstruksi yang dimiliki, proses yang dilakukan di dalam Gedung perkantoran, sistem proteksi kebakaran aktif maupun pasif, sifat dan kondisi penghuni yang kemungkinan ada, serta informasi tentang bagian Pemadam Kebakaran seperti jarak ke Gedung perkantoran;

Focus Group Discussion (FGD) dengan teknisi fasilitas gedung, petugas HSSE, dan tim tanggap darurat perusahaan. Diskusi dilakukan kepada penghuni gedung selama periode bulan November-Desember 2025, ketua tim tanggap darurat gedung, kepala *engineering* gedung dan perwakilan manajemen gedung.

Adapun diskusi dilakukan untuk mendapat identifikasi bahaya dari Gedung. Yang akan ditanyakan saat FGD terkait dengan :

1. **Faktor Manusia** : Usia, Jenis kelamin, Tingkat Pendidikan, Pengetahuan mengenai cara memadamkan api di gedung, Pengetahuan mengenai penggunaan APAR, Pengetahuan mengenai hidran, Pengetahuan mengenai detektor asap, Pengetahuan mengenai nomor darurat gedung, Lokasi titik berkumpul, Perilaku ketika menghadapi kebakaran, Pengetahuan mengenai rambu-rambu eksit.
2. **Faktor Mesin** : Deteksi asap, alarm kebakaran, *Sprinkler*, APAR, hidran, penghalang asap, simbol keadaan darurat, sistem pencahayaan darurat, titik berkumpul dalam keadaan darurat.
3. **Faktor Material** : Tingkat ketahanan api, Konstruksi dan penunjangnya, Saf petugas pemadam kebakaran, Akses eksit koridor, Eksit, Pintu, Ruang terlindung dan proteksi tangga, Jalan terusan eksit, Kapasitas sarana jalan keluar, Jumlah sarana jalan keluar.
4. **Faktor Metode** : Sistem manajemen keselamatan kebakaran.
5. **Faktor Lingkungan** : Sumber ignisi, Sumber bahan bakar dan oksigen, Kondisi dari gedung lain disekitar, Akses petugas pemadam kebakaran ke lingkungan gedung, Akses petugas pemadam kebakaran ke dalam gedung, Lokasi pemadam kebakaran di sekitar gedung, Lokasi sumber air untuk hidran di sekitar gedung

Dokumentasi visual dan catatan inspeksi terhadap kondisi alat proteksi seperti hydrant, alarm, dan APAR yang dimiliki pada fasilitas perkantoran perusahaan.

Data input yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

Data umum Lokasi

- Denah & tata ruang : luas ruangan (m^2), fungsi ruang (panel listrik, pantri, *server*), Jalur evakuasi, posisi sekat/dinding tahan api.
- Keterangan bangunan : jumlah lantai, material konstruksi, ventilasi, kapasitas penghuni per lantai.
- Inventaris peralatan risiko tinggi : panel Listrik, UPS, genset, rak *server*, peralatan dapur.
- Sejarah insiden : catatan kejadian kebakaran/nyala api dalam 5-10 tahun terakhir.

Data initiating event (IEF)

Untuk setiap skenario awal (mis. Korsleting panel Listrik, *overheating server*, tumpahan minyak di pantri, *human error*) :

- Frekuensi inisiasi : kejadian per tahun ($1/year$). Jika tidak tersedia lokal, akan digunakan data referensi (NFPA/USFA/CCPS).
- Deskripsi skenario : kondisi yang memicu, lokasi, waktu (shift), probabilitas awal
- Data sumber : Inspeksi teknis, rekaman perbaikan, wawancara teknis.

Data lapisan proteksi (*Independent Protection Layers*)

Untuk setiap proteksi potensial disetiap skenario :

- Nama IPL : detektor asap, panel alarm kebakaran, *sprinkler* otomatis, APAR, *fire door*, hidran, pencahayaan darurat, tim tanggap darurat.
- Fungsi keselamatan : deteksi, *suppression*, isolasi, evakuasi.
- Independensi : apakah sistem ini benar-benar independen dari sistem kontrol proses/kelistrikan yang sama.
- PFD (*Probability of Failure on Demand*) : nilai PFD per IPL (nilai referensi atau hasil uji). Jika tidak ada data, nilai PFD menggunakan referensi CCPS/IEC/literatur sebagai asumsi.
- Data pendukung : hasil uji fungsi, catatan pemeliharaan interval uji.

Conditional Modifiers (CM)

Faktor kondisi yang mempengaruhi efektivitas proteksi :

- Waktu respon manusia (detik/menit) dan tingkat pelatihan (skor)
- Kondisi ventilasi, tingkat penyebaran asap
- Ketersediaan sumber air untuk hidran/*sprinkler*
- Kondisi listrik cadangan yang mempengaruhi operasi detektor/*sprinkler*

Semua diberi nilai faktor (0-1) sebagai multiplier

Data Konsekuensi : Konsekuensi keselamatan, ekonomi dan kategori *severity* skala 1-5 untuk tujuan penentuan ALARP. Sumber data dari valuasi aset, asuransi, manajemen keuangan perusahaan atau data referensi yang disesuaikan.

Tabel 1. Data Input yang Diperlukan

Kategori	Input Data / Informasi yang Diperlukan	Sumber Data / Metode Pengumpulan
Identifikasi bahaya (<i>Hazard Identification</i>)	Potensi sumber api: korsleting listrik, peralatan panas (<i>printer</i> , AC), rokok, dll.	Observasi lapangan, wawancara, data HSSE, laporan insiden sebelumnya (5-10 tahun terakhir)
Kondisi awal (<i>Initiating Event</i>)	Kebakaran kecil akibat korsleting listrik di ruang <i>server</i>	Hasil inspeksi instalasi listrik, laporan pemeliharaan
Frekuensi kejadian awal (<i>Initiating Event Frequency</i>)	1×10^{-3} kejadian/tahun (berdasarkan data historis industri perkantoran)	Statistik kebakaran gedung (5-10 tahun terakhir)
Lapisan Perlindungan (<i>Independent Protection Layers/IPL</i>)	1. Detektor asap otomatis 2. Sistem alarm kebakaran 3. <i>Sprinkler</i> otomatis 4. Petugas keamanan & tim tanggap darurat	Data sistem proteksi kebakaran gedung
Efektivitas IPL (<i>Probability of Failure on Demand/PFD</i>)	- Detektor asap: 0.1 - Alarm: 0.1 - <i>Sprinkler</i> : 0.01 - Petugas keamanan: 0.1	Nilai tipikal dari standar LOPA (CCPS, IEC 61511)
Konsekuensi (<i>Severity</i>)	Kebakaran ruang <i>server</i> menyebabkan kerusakan peralatan TI dan dokumen penting → potensi kerugian Rp 2 miliar, gangguan operasional 7 hari	Analisis dampak finansial dan operasional
Cabang Pohon Kejadian (ETA)	Skenario berhasil/gagal tiap lapisan proteksi (deteksi → alarm → <i>sprinkler</i> → evakuasi)	Pengembangan <i>event tree</i> berdasarkan urutan kejadian kebakaran

Sumber: Data primer diolah (2026)

Populasi

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh sistem proteksi kebakaran, sumber potensi risiko, serta kondisi operasional pada gedung *demo room* dan gedung ICT. Selain itu, populasi juga termasuk individu yang terlibat langsung dalam aktivitas operasional gedung dan

kantor. Populasi individu terdiri dari penanggung jawab gedung, tenaga ahli, teknisi gedung, dan penghuni gedung.

Sampel

Penentuan sampel dilakukan menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu metode pemilihan responden berdasarkan kriteria tertentu yang disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Hal ini dilakukan mempertimbangkan tingkat risiko dan relevansi terhadap potensi kejadian kebakaran. Sampel meliputi :

- Ruang dengan risiko tinggi seperti ruang panel listrik, ruang *server*, dan pantri;
- Skenario *initiating event* utama;
- Lapisan proteksi yang berperan signifikan dalam mitigasi risiko.

Pendekatan ini digunakan karena penelitian bersifat risk-based dan berorientasi pada analisis rekayasa.

Analisis LOPA

Pada tahapan ini, data yang dikumpulkan dari studi literatur dan laporan lapangan kemudian diolah. Data input pada analisis LOPA meliputi :

- Informasi dasar tentang sumber kebakaran, penyebab kebakaran dan konsekuensi kebakaran gedung perkantoran;
- Informasi tentang pengendalian yang ada seperti sistem proteksi kebakaran pasif dan aktif,
- Frekuensi peristiwa penyebab
- Probabilitas kegagalan lapisan perlindungan
- Ukuran konsekuensi
- Definisi risiko yang dapat ditoleransi

Adapun urutan dalam melakukan analisis adalah dengan mengidentifikasi bahaya dan faktor penyebab dari kejadian kebakaran pada area perkantoran kemudian melakukan assessment dan penentuan mode kegagalan dari sistem proteksi kebakaran yang dimiliki pada area perkantoran. Selanjutnya dilakukan analisa pasangan sebab akibat dari daftar risiko dan *Independent Protection Layer* (IPL) menggunakan metode LOPA.

Langkah dalam penerapan LOPA adalah sebagai berikut :

1. Menentukan skenario berbahaya (misal: kebakaran akibat korsleting panel listrik, gagal fungsi *sprinkler*).
2. Mengidentifikasi lapisan perlindungan independen/IPL.
3. Menentukan *Probability of Failure on Demand* (PFD) untuk setiap IPL.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap Identifikasi Bahaya dan Skenario

Berdasarkan hasil wawancara, observasi, dan analisis data, diperoleh beberapa skenario kebakaran Gedung perkantoran seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 Skenario kebakaran gedung perkantoran.

Tabel 2. Skenario Kebakaran Gedung Perkantoran

Skenario ID	Skenario Kebakaran	Sumber Bahaya	Area
S1	Korsleting listrik	Instalasi listrik, Perangkat IT	Panel/ruang <i>server</i> , Ruang alat peraga, Data <i>center</i>
S2	<i>Human error</i>	Penggunaan listrik	Ruang kerja

Skenario ID	Skenario Kebakaran	Sumber Bahaya	Area
S3	Kebakaran pantri	Material mudah terbakar	Pantri

Sumber: Data primer diolah berdasarkan hasil observasi dan wawancara (2026)

Dari ketiga skenario kebakaran gedung perkantoran, korsleting listrik menjadi skenario paling dominan karena dapat berupa:

- Kerusakan instalasi listrik
- Kerusakan peralatan listrik
- Instalasi listrik tidak standard

Berdasarkan data statistik *National Fire Protection Association* (NFPA) dan *US Fire Administration* (USFA), frekuensi kebakaran gedung non-residensial dari tahun 2020-2024.

Jumlah kebakaran gedung non-residensial pada periode 2020-2024 berkisar antara 105.000 hingga 120.000 kejadian per tahun. Kebakaran tersebut mengakibatkan sekitar 120 hingga 140 orang korban meninggal (*severity level 5 Catastrophic*) dan lebih dari 1.000 orang korban luka setiap tahunnya dengan total kerugian properti mencapai USD 3-4 miliar (*severity level 4 Significant*). Kejadian kebakaran ini tentunya akan menimbulkan pemberitaan secara nasional/regional (*severity level 4 Significant*). Penyebab kejadian kebakaran dari tahun 2020-2024 didominasi oleh aktivitas memasak (30,20%), kegagalan sistem kelistrikan (12,20%), kesalahan manusia (13,60%), tindakan tidak disengaja (10,00%), dan dari aktivitas lainnya (34,00%). Dari data tersebut didapat kemungkinan kejadian kebakaran gedung non residensial dari setiap penyebab kejadian dominan adalah aktivitas memasak sebesar $3,41 \times 10^4$ per tahun, *human error* sebesar $1,54 \times 10^4$ per tahun, dan kegagalan sistem kelistrikan sebesar $1,38 \times 10^4$ per tahun.

Dapat diketahui bahwa frekuensi penyebab kejadian kebakaran gedung perkantoran berasal dari korsleting listrik yang memberikan konsekuensi terhadap manusia berupa korban meninggal dan kerusakan properti yang dimiliki perusahaan. Penyebab kejadian kebakaran yang berasal dari korsleting listrik terjadi 2 kejadian dalam 5 tahun sehingga dapat dihitung frekuensi kejadian sebesar 0,4 per tahun.

Kebakaran gedung perkantoran memiliki level risiko *moderate to high* hingga *high* dimana perlu dilakukan perilaku risiko dengan *reduce/mitigate* atau *transfer/sharing*. Probabilitas maupun keparahan/*severity* dari kejadian kebakaran gedung perkantoran sangat memungkinkan memberikan level *5/Catastrophic* dimana dari segi manusia itu dapat memberikan korban lebih dari 1 (satu) orang sehingga perlu dilakukan pencegahan dan penanggulangan terhadap sistem proteksi kebakaran yang dimiliki agar tidak memberikan eskalasi dampak kejadian besar.

Analisis Lapisan Proteksi (LOPA)

Identifikasi Lapisan Proteksi

Lapisan perlindungan independen (*Independent Protection Layer/IPL*) eksisting yang teridentifikasi dapat dilihat pada Tabel 3 Lapisan proteksi eksisting gedung perkantoran dengan mengembangkan data yang telah teridentifikasi.

Tabel 3. Lapisan Proteksi Eksisting Gedung Perkantoran PT XYZ

Nama IPL	Kondisi		Keterangan
	Gedung <i>demo room</i>	Gedung ICT	
Kontrol dasar proses	Bangunan konkrit	Bangunan konkrit	Material bangunan dan pengaturan penyimpanan bahan mudah terbakar (jika ada)
Deteksi asap	Tidak tersedia	Tidak tersedia	Gap utama
Alarm kebakaran	Tersedia namun terbatas	Tersedia	Tidak terintegrasi penuh, bergantung pada deteksi dan waktu respon manusia
Hidran pemadam kebakaran	Tersedia namun terbatas	Tersedia namun terbatas	Tersedia di luar gedung
APAR	Tersedia, kondisi baik	Tersedia, kondisi baik	Bergantung pada pelatihan dan waktu respon manusia
<i>Sprinkler</i>	Tidak tersedia	Tersedia	Bergantung pada otomasi
Tim tanggap darurat	Tersedia	Tersedia	Bergantung kesiapsiagaan

Sumber: Data primer diolah berdasarkan hasil observasi dan wawancara (2026)

Pada Tabel 3 terdapat sistem proteksi yang bukan termasuk kedalam lapisan perlindungan independen (IPL) seperti jalur evakuasi yang jelas dan mudah diakses, rencana evakuasi yang terlatih, *training* dan *awareness*. Namun hal tersebut akan mempengaruhi respon dari IPL yang telah dimiliki.

Analisis Probabilitas Kegagalan (PFD)

Berdasarkan referensi standar (CCPS/NFPA), probabilitas kegagalan lapisan proteksi yang teridentifikasi pada gedung perkantoran dapat dilihat Tabel 4 Probabilitas kegagalan lapisan proteksi eksisting.

Tabel 4. Probabilitas Kegagalan Lapisan Proteksi Gedung Perkantoran

Nama IPL	Kategori IPL	PFD	Keterangan
Kontrol dasar proses	Pencegahan & pengendalian awal	10^{-1}	Tidak independen sepenuhnya
Alarm kebakaran	Deteksi dini	10^{-1}	Bergantung pada deteksi dan waktu respon manusia
Hidran pemadam kebakaran	Pencegahan & pengendalian awal	10^{-1}	10^{-2} jika terintegrasi
APAR	Pencegahan & pengendalian awal	10^{-1}	Bergantung pada pelatihan dan waktu respon manusia
<i>Sprinkler</i>	Pencegahan & pengendalian awal	10^{-2}	Bergantung pada otomasi
Tim tanggap darurat	Evakuasi & perlindungan manusia	10^{-1}	Rutin dilatih

Sumber: CCPS (2015), NFPA (2021), dan data primer diolah (2026)

Hasil Perhitungan Risiko LOPA

Dalam penentuan risiko LOPA, diperlukan pengolahan data dari tingkat keparahan kejadian, penyebab pemicu, kemungkinan kejadian pemicu dari jumlah kejadian kebakaran dari tahun 2020-2024, nilai PFD mulai dari lapisan proteksi sistem kontrol dasar, alarm dan tindakan operator, *fire suppression*, APAR, dan tim tanggap darurat serta kondisi termodifikasi seperti faktor okupansi dan kemungkinan pemicu. Pada lingkup penelitian ini, tidak terdapat kejadian antara kebakaran gedung karena bukan fasilitas proses produksi.

Lingkup kejadian kebakaran terjadi pada gedung *demo room* dan gedung ICT dengan penyebab pemicu berupa korsleting listrik. Tingkat keparahan/*severity* mengacu pada penjelasan tahap identifikasi bahaya dan skenario menunjukkan bahwa kejadian kebakaran gedung dapat mengakibatkan lebih dari 1 orang korban meninggal (*severity level 5 Catastrophic*) dan kategori *severity* terkait aspek manusia (*people*) merupakan aspek yang memiliki tingkat dampak tertinggi.

Pada penjelasan tahap identifikasi bahaya dan skenario, diketahui bahwa kemungkinan penyebab pemicu dari korsleting listrik sebesar $1,38 \times 10^{-4}$ per tahun. Nilai kemungkinan pemicu dijadikan sebagai kemungkinan pada perhitungan pada skenario yang teridentifikasi. Lapisan perlindungan pada setiap gedung disesuaikan Tabel 3 dengan nilai *Probability of Failure* mengacu pada Tabel 4.

Berdasarkan CCPS, faktor yang dapat mempengaruhi kondisi termodifikasi (*Conditional Modifier/CM*) adalah kehadiran manusia saat kejadian, lamanya orang/aset terpapar bahaya, eskalasi menjadi bahaya kejadian besar, sistem evakuasi dan proteksi pasif yang dimiliki, kecepatan deteksi dan respon, dan jenis konsekuensi yang dianalisis. Berdasarkan kondisi dari operasional kebakaran diakibatkan korsleting listrik, gedung *demo room* dan gedung ICT tidak selalu ada orang, hanya jam kerja, eskalasi bisa tidak berkembang, dan deteksi lambat sehingga CM masuk kategori sedang (nilai 0,5). Hasil perhitungan risiko LOPA pada setiap skenario yang teridentifikasi pada kebakaran gedung perkantoran Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Risiko LOPA pada Skenario yang Teridentifikasi

Deskripsi Dampak Peristiwa	Tingkat Keparahan (<i>Severity</i>)	Deskripsi penyebab pemicu	Kemungkinan pemicu (freq/tahun)	Lapisan Perlindungan (<i>Probability of Failure</i>)				
				Sistem kontrol dasar	Alarm dan tindakan operator	<i>Fire Suppression</i>	APAR	<i>Emergency Response</i>
Gedung Demo Room								
Kebakaran	<i>Catastrophic</i>	Korsleting listrik	1,38E+04	0,1	0,1	<i>Not available</i>	0,1	0,1
Gedung ICT								
Kebakaran	<i>Catastrophic</i>	Korsleting listrik	1,38E+04	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1

Tabel 5. Perhitungan risiko LOPA pada setiap skenario yang teridentifikasi (Lanjutan)

Deskripsi Dampak Peristiwa	Tingkat Keparahan (<i>Severity</i>)	Deskripsi penyebab pemicu	Kemungkinan pemicu (freq/tahun)	Kondisi termodifikasi (<i>Conditional Modifier</i>)		Kemungkinan kejadian antara	Kemungkinan Akhir
				Faktor okupansi	Kemungkinan pemicu		
Gedung Demo Room							
Kebakaran	<i>Catastrophic</i>	Korsleting listrik	4,00E-01	0,5	<i>Not applicable</i>	<i>Not applicable</i>	6,89E-01
Gedung ICT							
Kebakaran	<i>Catastrophic</i>	Korsleting listrik	4,00E-01	0,5	<i>Not applicable</i>	<i>Not applicable</i>	6,89E-03

Sumber: Data primer diolah (2026)

Interpretasi LOPA

Pada Tabel 4.8 Hasil perhitungan LOPA menunjukkan bahwa nilai kemungkinan akhir pemicu kejadian dari skenario pemicu kejadian korsleting listrik pada gedung demo room sebesar $6,89 \times 10^{-1}$ per tahun dan pada gedung ICT sebesar $6,89 \times 10^{-3}$ per tahun.

Dengan nilai batas risiko (*tolerable*) sebesar 10^{-6} per tahun, secara matematis, nilai risiko gedung demo room dan gedung ICT berada diatas batas toleransi. Secara praktis, risiko tergolong tinggi terhadap eskalasi kebakaran gedung.

Pembahasan

Hasil penelitian munjukkan bahwa sistem proteksi kebakaran pada gedung perkantoran PT XYZ masih memiliki keterbatasan dalam menurunkan tingkat risiko kebakaran secara efektif. Hal ini terlihat dari hasil analisis LOPA menunjukkan nilai *Probability of Failure on Demand* (PFD) sebagian besar lapisan proteksi berada pada kisaran 10^{-1} .

Berdasarkan teori yang dijelaskan pada Bab Kajian Pustaka, kondisi tersebut sesuai dengan konsep yang terdapat pada CCPS (2015) bahwa lapisan proteksi dengan nilai PFD tinggi (mendekati angka satu) memiliki tingkat keandalan yang rendah, sehingga diperlukan penambahan atau peningkatan *Independent Protection Layer* (IPL) untuk mencapai tingkat risiko yang dapat diterima. Selain itu, tidak tersedianya sistem proteksi otomatis seperti *sprinkler* dan *smoke detector* yang terintegrasi menunjukkan adanya gap antara kondisi eksisting dengan standar internasional NPFA 13 (*sprinkler system*) dan NFPA 72 (*fire alarm system*), yang menekankan pentingnya deteksi dini dan pemadaman otomatis dalam mengendalikan kebakaran pada tahap awal.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian terdahulu (Kim et al., 2004; Amini et al., 2022) yang menyatakan bahwa keberadaan sistem proteksi otomatis secara signifikan dapat menurunkan probabilitas eskalasi kebakaran dibandingkan dengan sistem manual.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi penting terhadap penerapan manajemen risiko di PT XYZ khususnya dalam aspek keselamatan gedung (*Building Fire Safety Management*). Sistem proteksi yang ada saat ini masih bersifat reaktif (mengandalkan pemadaman setelah kebakaran terjadi) dan belum optimal dalam pencegahan dengan implikasi perlunya pengembangan sistem yang lebih preventif melalui deteksi dini dan sistem pemadaman otomatis. Hal ini sesuai dengan konsep manajemen risiko modern dalam ISO 31000 (2018) yang menekankan pendekatan preventif dalam pengendalian risiko.

Hasil LOPA menunjukkan bahwa sebagian besar IPL memiliki nilai PFD sebesar 10^{-1} , yang berarti tingkat kehandalan rendah. Implikasi manajerial perlu mengambil keputusan investasi pada *upgrading*/peningkatan sistem proteksi kebakaran dengan menambahkan sistem *sprinkler*, detektor asap, dan *fire suppression system* (khusus gedung *demo room*). Investasi ini akan meningkatkan faktor reduksi risiko secara signifikan sesuai dengan konsep LOPA (*Center for Chemical Process Safety* (CCPS), 2015).

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem proteksi belum terintegrasi dan belum ada pengelolaan sistem kebakaran secara menyeluruh sehingga perusahaan perlu mengimplementasikan Sistem Manajemen Keselamatan Kebakaran, prosedur inspeksi dan audit berkala, sistem dokumentasi dan monitoring. Hal ini sesuai dengan konsep manajemen keselamatan dalam standar NFPA dan ISO 31000.

Kebakaran pada gedung perkantoran tidak hanya memberikan dampak pada keselamatan, tetapi juga pada gangguan operasional, kerugian ekonomi, dan kerusakan reputasi perusahaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat konsekuensi berada pada kategori *Catastrophic* yang berarti berpotensi menyebabkan kerugian besar. Pengelolaan risiko kebakaran harus menjadi bagian dari *business continuity management* (BCM) dan strategi keberlanjutan perusahaan. Hal ini sesuai dengan pendekatan ISO 22301 (*Business Continuity*) yang menekankan pentingnya kesiapsiagaan terhadap bencana.

Penelitian ini memberikan kontribusi teoritis dalam mengembangkan penerapan metode LOPA pada gedung perkantoran, yang sebelumnya lebih digunakan pada industri proses. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa pendekatan semi-kualitatif dapat diterapkan pada sistem proteksi kebakaran gedung perkantoran.

KESIMPULAN

Sistem proteksi kebakaran gedung perkantoran PT XYZ belum sepenuhnya memenuhi standar minimal, terutama pada sistem deteksi dini, *sprinkler*, dan hidran internal, yang menunjukkan bahwa tingkat kesiapan proteksi masih terbatas; hasil evaluasi menunjukkan bahwa kebakaran memiliki tingkat keparahan/severity 5 (*catastrophic*) dengan dampak mencakup korban jiwa lebih dari 1 orang, kerusakan aset, dan gangguan operasional sehingga kebakaran merupakan risiko kritis yang harus dikendalikan, dengan pencegahan eksisting yang dapat dilakukan berupa peningkatan terhadap sistem proteksi pasif melalui pemberian pelatihan penggunaan APAR dan hidran, simulasi tanggap darurat secara berkala, dan pembentukan *fire warden team* untuk tim tanggap darurat dari setiap lantai dan gedung, serta peningkatan terhadap sistem manajemen berupa implementasi *fire safety management system*, audit berkala sistem proteksi yang dimiliki, dan monitoring serta *maintenance* rutin lapisan proteksi independen. Hasil LOPA menunjukkan bahwa beberapa lapisan proteksi eksisting memiliki nilai PFD tinggi (10^{-1}) dengan probabilitas akhir pada gedung *demo room* sebesar $6,89 \times 10^{-1}$ per tahun dan pada gedung ICT sebesar $6,89 \times 10^{-3}$ per tahun, yang menunjukkan bahwa lapisan proteksi eksisting dapat memberikan penurunan probabilitas awal sebesar $1,38 \times 10^{-4}$ per tahun, meskipun probabilitas akhir kejadian kebakaran dari hasil LOPA masih berada di atas batas toleransi.

REFERENSI

American Institute of Chemical Engineers (AIChE). (2001). Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment. New York: Center for Chemical Process Safety and John Wiley & Sons.

- Amini, M., Soltanzadeh, A., Ghiyasi, S., & Najafiyani, H. (2022). Assessment of Maximum Possible Loss Caused by Fire in High-Rise Buildings Using the LOPA Method : A Case Study on Central Insurance Building of Iran. *Archives of Occupational Health*, 6(3), 1281-1287.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2015). *Layer of Protection Analysis : Simplified Process Risk Assessment* (2nd ed.). American Institute of Chemical Engineers.
- Echeverria, A. C. (2016). On the Use of LOPA and Risk Graphs for SIL Determination. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 41, 333-343.
- Health and Safety Executive (HSE). (2001). *Reducing Risks, Protecting People (R2P2): Policy and Criteria for the Assessment of Health and Safety Risks*. HSE Books.
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 31000 : Risk Management - Guidelines*. Geneva: ISO.
- Kim, W. K., Kim, H. J., & Choi, S. H. (2004). A Study for Quantitative Fire Risk Assessment of Tall Building. CTBUH 2004 Seoul Conference (hal. 727-734). Seoul, Korea: CTBUH.
- Lees, F. (2012). *Loss Prevention in the Process Industries* (4th ed.). London: Butterworth-Heinemann.
- Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2008). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 26/Prt/M/2008 Tentang Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran Pada Bangunan Gedung dan Lingkungan*. Jakarta: Menteri Pekerjaan Umum.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2021). *NFPA 13 : Standard for the Installation of Springkler Systems and NFPA 101: Life Safety Code*. Batterymarch Park, Quincy: National Fire Protection Association.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2021). *NFPA 551: Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments*. Batterymarch Park, Quincy: National Fire Protection Association.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2021). *NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Code*. Batterymarch Park, Quincy: National Fire Protection Association.
- Pertamina Hulu Energi. (2023). *Tata Kerja Operasi (TKO) No. B8-034_PHE04000_2023-S9 tentang Pengelolaan HSSE Risk Register Aspek Operasional*. Jakarta: Pertamina Hulu Energi.
- Putri, E. C. (2019). Analisis Penilaian Risiko Kebakaran di Gedung X. *Forum Ilmiah* Vo.16 No. 2, 105-118.