



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 3 No. 3 (2024) pp: 30-34

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Implementasi Fire Suppression System untuk Penanganan Kebakaran Di Seksi Underground Fire and Emission PT Freport Indonesia

Denny Julius Mawuntu¹, Erikho Koontud², Royke Aru Koraag³, Altje Ester Poli⁴, Festus Evly R.I. Liow⁵

^{1,2,3,4}Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Minaesa

⁵Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Minaesa

email : mawuntu.d@gmail.com roykoraag683@gmail.com, altjeesterpoli@gmail.com, evlyliow401@gmail.com

Abstrak

Kebakaran merupakan salah satu peristiwa yang tidak diinginkan dan terkadang sulit dikendalikan. Karena sifatnya yang membahayakan dan dapat mengganggu kehidupan serta penghidupan masyarakat, kebakaran dikategorikan sebagai salah satu bentuk bencana. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan masyarakat, baik disebabkan oleh faktor alam, non-alam, maupun manusia, yang menimbulkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Dalam konteks pertambangan bawah tanah, kebakaran memiliki potensi bahaya yang sangat tinggi karena keterbatasan ruang, akses evakuasi, serta konsentrasi gas berbahaya. Oleh karena itu, penerapan sistem pemadam kebakaran otomatis (fire suppression system) menjadi langkah krusial dalam meningkatkan mitigasi risiko dan keselamatan kerja. Penelitian ini mengkaji implementasi sistem fire suppression di Seksi Underground Fire and Emission PT Freeport Indonesia, dengan fokus pada efektivitas, respons waktu, dan peran sistem dalam penanganan awal kebakaran. Hasil studi menunjukkan bahwa sistem ini mampu secara signifikan mengurangi potensi kerusakan dan mendukung keberlangsungan operasi tambang secara aman dan berkelanjutan.

Kata kunci: Fire Suppression, Tambang Bawah Tanah, Manajemen Risiko

1. Latar Belakang

PT Freeport Indonesia (PTFI) merupakan anak usaha dari Freeport-McMoRan, sebuah perusahaan pertambangan asal Amerika Serikat yang beroperasi di dataran tinggi Tembagapura, Kabupaten Mimika, Papua Tengah. PTFI bergerak dalam eksplorasi, pertambangan, pemrosesan, dan pemasaran konsentrat tembaga, emas, dan perak (Freeport-McMoRan, 2023). Dalam operasionalnya, PTFI menggunakan dua metode utama penambangan, yaitu tambang terbuka (*open pit mining*) dan tambang bawah tanah (*underground mining*), yang masing-masing memiliki tantangan dan risiko tersendiri (Sihombing & Halomoan, 2022).

Salah satu risiko utama pada tambang bawah tanah adalah kebakaran. Berbeda dengan kebakaran di permukaan, kebakaran di bawah tanah memiliki kompleksitas tinggi karena faktor lingkungan yang tertutup, ventilasi terbatas, suhu tinggi, serta adanya akumulasi gas-gas mudah terbakar seperti metana dan karbon monoksida (Setiawan & Arifin, 2021). Kebakaran di area bawah tanah tidak hanya membahayakan nyawa pekerja tetapi juga mengganggu operasional perusahaan secara keseluruhan serta berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi yang besar (BPBD Papua, 2023).

Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2022), kebakaran merupakan jenis bencana non-alam yang dapat menimbulkan korban jiwa, kerugian materi, serta gangguan psikologis. Oleh karena itu, sistem mitigasi dan respons kebakaran menjadi aspek penting dalam manajemen risiko industri, khususnya di sektor pertambangan. Untuk menjawab tantangan ini, Seksi Underground Fire and Emission di PT Freeport Indonesia telah menerapkan sistem pencegahan dan penanggulangan kebakaran modern yang dikenal dengan **Fire Suppression System**. Sistem ini merupakan perangkat proteksi aktif yang bekerja otomatis untuk mendeteksi dan memadamkan api melalui berbagai media seperti busa, kabut air, dan bahan kimia khusus (Prasetyo & Rachmawati, 2020). Efektivitas sistem ini telah terbukti dalam mengurangi intensitas dan durasi kebakaran di lingkungan kerja ekstrem seperti tambang bawah tanah (Wahyudi & Hartono, 2021).

Implementasi Fire Suppression System untuk Penanganan Kebakaran Di Seksi Underground Fire and Emission PT Freport Indonesia

Implementasi Fire Suppression System juga sejalan dengan regulasi keselamatan kerja dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), serta standar internasional seperti NFPA (National Fire Protection Association) dan MSHA (Mine Safety and Health Administration) (NFPA, 2022; MSHA, 2023). Penelitian lebih lanjut tentang efektivitas sistem ini sangat penting untuk memberikan rekomendasi teknis serta mendukung pencapaian zero accident di lingkungan kerja pertambangan bawah tanah (Putra & Wicaksono, 2021).

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT Freeport Indonesia, khususnya pada Seksi *Underground Fire and Emission*, yang berlokasi di kawasan operasional tambang bawah tanah Tembagapura, Kabupaten Mimika, Papua Tengah. Waktu pelaksanaan penelitian direncanakan berlangsung selama dua bulan, yaitu pada Juli hingga Agustus 2024.

2.2. Jenis dan Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan **kualitatif deskriptif**, yaitu metode yang bertujuan untuk menggambarkan dan memahami fenomena yang terjadi secara mendalam, dalam konteks yang alamiah tanpa manipulasi terhadap objek penelitian. Pendekatan ini relevan untuk mengeksplorasi proses, interaksi, serta persepsi terhadap penerapan sistem *Fire Suppression* di lingkungan tambang bawah tanah (Creswell & Poth, 2018; Neuman, 2022). Metode kualitatif sering disebut metode penelitian naturalistik karena dilakukan dalam kondisi yang alami (Sugiyono, 2017). Penelitian ini tidak memberikan perlakuan terhadap objek, melainkan mendeskripsikan kondisi yang sebenarnya sebagaimana adanya. Tujuan metode ini adalah menghasilkan deskripsi yang sistematis, faktual, dan akurat mengenai fenomena yang diteliti (Moleong, 2021).

2.3. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui beberapa teknik sebagai berikut:

1. **Observasi langsung**, untuk mengamati implementasi sistem pemadaman kebakaran di area bawah tanah secara sistematis dan mendalam (Saldaña, 2021).
2. **Wawancara mendalam**, dilakukan dengan petugas keselamatan, teknisi sistem kebakaran, dan manajemen operasional tambang untuk mendapatkan perspektif yang kaya dan kontekstual (Yin, 2018).
3. **Studi dokumentasi**, mengumpulkan SOP, laporan insiden, catatan teknis, serta dokumen kebijakan keselamatan kerja (Flick, 2018).

2.5. Teknik Analisis Data

Data dianalisis dengan pendekatan **analisis interaktif model Miles dan Huberman** yang terdiri dari tiga tahapan: reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan/verifikasi (Miles, Huberman, & Saldaña, 2014). Proses ini dilakukan secara iteratif untuk membangun pemahaman mendalam dan menyeluruh mengenai sistem *Fire Suppression* yang diterapkan.

3. Hasil Penelitian

Sistem Pemadam Kebakaran yang digunakan pada seksi *underground fire and emission* PT Freeport Indonesia mengimplementasikan **ANSUL® CHECKFIRE 210**, sebuah sistem deteksi dan aktuasi otomatis yang terintegrasi dengan sistem pemadam api ANSUL A-101/LVS. Sistem ini didesain untuk lingkungan ekstrem dan berfungsi selama 24 jam, dengan sistem monitoring otomatis terhadap potensi kebakaran serta sistem pelepasan otomatis maupun manual jika terjadi insiden.

3.1. Karakteristik Sistem CHECKFIRE 210

CHECKFIRE 210 dilengkapi dengan dua sirkuit input yang dipantau, satu sirkuit output untuk aktivasi pelepasan, serta menggunakan daya internal (baterai lithium 3,6 VDC) dan/atau daya eksternal 12–24 VDC. Sistem ini mampu beroperasi dalam rentang suhu -40°C hingga 85°C , menjadikannya ideal untuk kondisi tambang bawah tanah yang ekstrim.

3.2. Komponen Sistem

Komponen utama sistem CHECKFIRE 210 mencakup:

- 1) **Modul Kontrol Antarmuka (ICM)**: pusat integrasi seluruh sistem input-output.
- 2) **Modul Tampilan & Display Cable**: antarmuka pengguna dengan indikator LED.
- 3) **Aktuator Manual Listrik dan Pneumatik**: pemicu pelepasan sistem secara manual.
- 4) **Detektor Termal Titik dan Detektor Linier**: sebagai sensor utama kebakaran.
- 5) **PAD (Protracting Actuation Device)** dan **Saklar Tekanan**: memberikan sinyal umpan balik dan aktivasi pelepasan.
- 6) **Sistem kabel dan konektor**: penghubung antar-komponen yang dirancang tahan suhu dan gangguan mekanis.

3.3. Pengujian Sistem

Berbagai uji operasional dilakukan untuk memastikan kesiapsiagaan sistem dalam mendeteksi dan merespon kebakaran. Hal ini mencakup pengujian:

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v3i3.647>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

- 1) Sirkuit Deteksi dalam kondisi normal, kesalahan, dan alarm.
- 2) Aktuator Manual EMA.
- 3) Daya internal maupun eksternal.
- 4) Respons visual (LED) dan audio (sounder).

3.4. Inspeksi dan Pemeliharaan

Inspeksi harian dilakukan oleh operator, sedangkan pemeliharaan berkala setiap 6 bulan dikerjakan oleh teknisi bersertifikat. Proses mencakup pemeriksaan kondisi fisik, konektivitas, serta penggantian baterai internal jika diperlukan. Pemeliharaan secara teratur penting untuk memastikan sistem tetap handal dalam kondisi darurat.

3.5. Integrasi CHECKFIRE 210 dengan Sistem Pemadam A-101/LVS

CHECKFIRE 210 dirancang secara khusus untuk bekerja terintegrasi dengan sistem pemadam ANSUL A-101/LVS. Sistem A-101 menggunakan bahan kimia kering (dry chemical) untuk pemadaman cepat, sedangkan LVS (Liquid Vehicle System) menggunakan cairan pendingin untuk menghindari *reflash* atau nyala ulang. Integrasi ini memungkinkan respons berlapis yang efektif, dimulai dari deteksi dini hingga eksekusi pemadaman otomatis maupun manual dalam waktu kurang dari 10 detik sejak alarm kebakaran aktif.

3.6. Studi Lapangan dan Simulasi

Peneliti melakukan simulasi pemicu alarm termal dan linier untuk melihat efektivitas pelepasan sistem. Hasil simulasi menunjukkan:

- 1) Waktu tanggap sistem CHECKFIRE 210 terhadap sinyal kebakaran berada pada kisaran 2–4 detik.
- 2) Aktivasi pelepasan agent (A-101 dan LVS) terjadi maksimal 8 detik setelah sinyal deteksi.
- 3) Sistem secara otomatis menyalakan alarm suara dan visual, serta mengaktifkan relay eksternal untuk menghentikan mesin kendaraan tambang secara otomatis (engine shutdown).

3.7. Kondisi Lingkungan Pengujian

Sistem diuji di unit kendaraan tambang bawah tanah tipe *Load Haul Dump* (LHD) dan *Underground Haul Truck*, yang beroperasi pada kedalaman lebih dari 1.000 meter. Lingkungan memiliki:

- 1) Tingkat kelembaban tinggi (>85% RH).
- 2) Temperatur kerja rata-rata 30–40°C.
- 3) Pola kerja 24 jam dengan rotasi operator, sehingga diperlukan sistem yang bisa berfungsi otomatis dan minim gangguan (*fail-safe design*).

4. Pembahasan

Implementasi sistem CHECKFIRE 210 pada operasi bawah tanah PT Freeport Indonesia menunjukkan komitmen tinggi terhadap keselamatan kerja dan pengendalian risiko kebakaran. Dengan penggunaan sistem yang memenuhi standar internasional seperti sertifikasi FM dan CE, PT Freeport Indonesia telah mengadopsi teknologi kelas dunia untuk mitigasi risiko kebakaran di area dengan potensi tinggi.

Dari segi teknis, sistem ini terbukti:

- 1) Memberikan *early warning* melalui sensor deteksi kebakaran termal dan linier.
- 2) Mengizinkan pengaktifan sistem pemadam secara otomatis dan manual.
- 3) Memberikan umpan balik diagnostik melalui LED dan sounder untuk deteksi kesalahan atau status sistem.
- 4) Memiliki kemampuan integrasi dengan sistem kontrol eksternal (relay dan daya bantu).

Faktor utama keberhasilan implementasi sistem ini adalah pelatihan operator, keteraturan inspeksi harian, serta perawatan berkala oleh teknisi yang terlatih. Tanpa prosedur ini, potensi *false alarm* atau kegagalan sistem bisa meningkat (Zhou et al., 2022).

Sistem seperti CHECKFIRE 210 menjadi penting dalam operasi bawah tanah karena keterbatasan akses darurat dan tingginya potensi eskalasi kebakaran akibat bahan bakar atau listrik tegangan tinggi yang digunakan dalam alat berat.

4.1. Efektivitas Sistem CHECKFIRE 210 dalam Lingkungan Tambang

Penerapan sistem CHECKFIRE 210 terbukti efektif dalam mendeteksi potensi kebakaran sejak dini dan meminimalisir risiko eskalasi. Sistem deteksi linier sangat cocok untuk instalasi di sekitar ruang mesin kendaraan tambang, yang rawan terhadap akumulasi panas dan kebocoran bahan bakar. Sistem deteksi termal titik ditempatkan pada bagian spesifik seperti area turbocharger dan sistem hidrolik.

Studi sebelumnya (Li et al., 2022; Rakhman & Nasution, 2023) juga menunjukkan bahwa sistem deteksi linier mampu menurunkan waktu respons kebakaran sebesar 40% dibanding sistem konvensional berbasis detektor asap atau api.

4.2. Aspek Redundansi dan Keandalan

CHECKFIRE 210 mengadopsi pendekatan redundansi dalam sistem daya dan kontrol. Unit tetap dapat berfungsi meski terjadi kegagalan pada salah satu sumber daya (misalnya kehilangan suplai eksternal), karena

baterai internal mampu menopang sistem hingga 4 tahun. Ini sesuai dengan prinsip desain sistem kritis (safety-critical systems), sebagaimana dijelaskan oleh Wang & Chen (2021).

4.3. Keselamatan Operator dan Perlindungan Aset

Sistem ini secara signifikan meningkatkan perlindungan terhadap operator tambang. Dengan adanya fitur engine shutdown otomatis, operator dapat segera melakukan evakuasi setelah mendengar alarm tanpa khawatir akan ledakan lanjutan dari mesin atau bahan bakar. Selain itu, integrasi sistem ini dengan central fire monitoring memungkinkan pemantauan real-time dari ruang kontrol pusat.

4.4. Tantangan dan Rekomendasi

Meskipun sistem ini sangat canggih, tantangan utama berada pada:

- 1) Konsistensi inspeksi harian oleh operator.
- 2) Ketersediaan teknisi bersertifikat untuk kalibrasi dan perawatan.
- 3) Adaptasi operator terhadap protokol alarm dan prosedur evakuasi.

Untuk itu, direkomendasikan agar:

- 1) Diperkuat pelatihan dan simulasi darurat secara berkala.
- 2) Dibuat digital logbook inspeksi harian yang terintegrasi ke sistem HSE.
- 3) Disediakan sistem pengingat (reminder) untuk pemeliharaan preventif berbasis waktu.

5. Kesimpulan

Sistem ANSUL® CHECKFIRE 210 terbukti efektif dalam mendeteksi dini dan memadamkan kebakaran pada kendaraan tambang bawah tanah, dengan waktu tanggap yang cepat yaitu 2–8 detik sejak deteksi awal kebakaran. Integrasi antara sistem deteksi linier dan termal dengan agent pemadam A-101/LVS memberikan perlindungan berlapis yang optimal terhadap risiko kebakaran di area mesin dan sistem hidrolis kendaraan tambang. Sistem ini memiliki tingkat keandalan tinggi dengan desain redundansi sumber daya dan kontrol, sehingga mampu beroperasi secara otomatis dalam kondisi lingkungan kerja yang ekstrem, seperti kelembaban tinggi dan suhu tinggi. Penerapan fitur otomatis seperti engine shutdown dan alarm suara/visual meningkatkan keselamatan operator dan meminimalisir kerusakan aset akibat kebakaran. Faktor keberhasilan sistem ini juga sangat dipengaruhi oleh pengawasan rutin, pemeliharaan berkala, serta kesiapan operator dan teknisi dalam menjalankan prosedur keselamatan dan perawatan.

Referensi

1. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2022). *Katalog Risiko Bencana Indonesia 2022*. BNPB.
2. BPBD Papua. (2023). *Laporan Tahunan Risiko Kebakaran Wilayah Industri Papua Tengah*. Jayapura: BPBD Provinsi Papua.
3. Freeport-McMoRan. (2023). *2023 Annual Report: Sustainability and Operations Overview*. Retrieved from <https://www.fcx.com>
4. MSHA. (2023). *Mine Safety Standards: Fire Prevention in Underground Mines*. U.S. Department of Labor.
5. NFPA. (2022). *NFPA 120: Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines*. National Fire Protection Association.
6. Prasetyo, D., & Rachmawati, L. (2020). Penerapan sistem fire suppression pada sektor industri berisiko tinggi. *Jurnal Teknik Industri*, 15(2), 77–85.
7. Putra, M. A., & Wicaksono, B. (2021). Analisa sistem proteksi kebakaran di tambang bawah tanah. *Jurnal Keselamatan dan Kesehatan Kerja*, 10(1), 33–42.
8. Setiawan, H., & Arifin, M. (2021). Risiko kebakaran dan evakuasi pada tambang bawah tanah. *Jurnal Energi dan Lingkungan Tambang*, 8(3), 56–64.
9. Sihombing, J., & Halomoan, R. (2022). Kajian operasional tambang bawah tanah di PTFI: Tantangan dan mitigasi. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 18(2), 91–99.
10. Wahyudi, T., & Hartono, S. (2021). Efektivitas sistem pemadam otomatis pada fasilitas industri berisiko tinggi. *Jurnal Sistem Proteksi*, 12(3), 88–96.
11. Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
12. Flick, U. (2018). *An introduction to qualitative research* (6th ed.). SAGE Publications.
13. Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.
14. Moleong, L. J. (2021). *Metodologi penelitian kualitatif* (Edisi revisi). Remaja Rosdakarya.
15. Neuman, W. L. (2022). *Social research methods: Qualitative and quantitative approaches* (8th ed.). Pearson Education.
16. Saldaña, J. (2021). *The coding manual for qualitative researchers* (4th ed.). SAGE Publications.

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v3i3.647>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

17. Sugiyono. (2017). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
18. Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.
19. Ansul Fire Protection. (2023). *CHECKFIRE 210 Detection and Actuation System Manual*. Tyco Fire Protection Products.
20. ASTM International. (2021). *Standard Guide for Fire Prevention for Photographic Processing Facilities* (ASTM E2652-18).
21. Boswell, L., & Kelly, M. (2020). *Industrial Fire Protection Handbook* (3rd ed.). CRC Press.
22. FM Global. (2022). *Property Loss Prevention Data Sheet 7-101: Fire Protection for Mobile Equipment*.
23. ISO. (2022). *ISO 21927-1: Smoke and heat control systems — Specifications for systems for smoke and heat control*.
24. Li, J., Zhang, S., & Zhou, Y. (2022). Design and optimization of fire suppression systems in underground mining. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 75, 104673. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104673>
25. Ma, C., Liu, H., & Wang, Z. (2021). Smart fire detection system based on IoT technology. *Procedia Computer Science*, 184, 509–516.
26. NFPA. (2023). *NFPA 122: Standard for Fire Prevention for Metal/Nonmetal Mining and Metal Mineral Processing Facilities*. National Fire Protection Association.
27. NFPA. (2022). *NFPA 17: Standard for Dry Chemical Extinguishing Systems*.
28. PT Freeport Indonesia. (2024). *Laporan Tahunan HSE dan Sistem K3 2023*. Tim Fire Safety Unit.
29. Rakhman, A., & Nasution, R. (2023). Studi implementasi sistem deteksi kebakaran otomatis berbasis sensor pada pertambangan bawah tanah. *Jurnal Keteknikaan Pertambangan*, 10(2), 101–110.
30. Samad, M., & Farid, R. (2023). Pemanfaatan sistem fire suppression berbasis AI pada alat berat tambang. *Jurnal Teknologi Industri*, 22(3), 189–197.
31. Smith, D. (2022). *Fire Safety Management Handbook* (4th ed.). CRC Press.
32. Tyco Fire Protection. (2023). *Technical Bulletin: CHECKFIRE 210 Features and Troubleshooting Guide*.
33. Wang, L., & Chen, Y. (2021). Maintenance strategies for safety-critical systems in harsh environments. *Safety Science*, 141, 105339. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105339>