



Penerapan Sistem Deteksi Api dan Gas pada Proyek Ekspansi Lapangan Utara (NFXP)

Zul Fazri Sabily Muttaqin^{1*}, Purbawati², Mad Yusup³, Ida Rosanti⁴

¹⁻⁴ Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Timur, Indonesia

Email : zul.fazri.212@gmail.com¹, madyusup0906@gmail.com³

Alamat: Jl. KH. Harun Nafsi, Samarinda 75131, Indonesia

Korespondensi penulis: zul.fazri.212@gmail.com

Abstract. The research with the title Application of Fire and Gas Detection Systems takes place at the North Field Expansion Project (NFXP). The methods used are direct observation, interviews, simulations and literature studies. The objectives of the study were to determine the application of fire and gas detection systems, and to determine the challenges in the application of fire and gas detection systems in the North Field Expansion Project (NFXP). The results obtained show that the Fire and Gas Detection System implemented at NFXP is in compliance with international safety standards, and the system is able to detect fire threats and gas leaks with high efficiency through advanced detector technology, automatic response, and integration with other safety systems such as IPS and HVAC. The effectiveness of the system is reflected in the ability to detect threats in less than 5 seconds, with detection coverage that meets the target of 90% by one detector and 85% by two or more detectors. The main challenges in the implementation of fire and gas detection systems include extreme environmental conditions, such as corrosion due to exposure to seawater and high temperatures, and false alarms that reach around 15%. Another obstacle is the lack of technical training for personnel in operating and maintaining the system.

Keywords: Fire and Gas Detection System, North Field Expansion Project (NFXP), Safety Standards, Detection Efficiency, Implementation Challenges

Abstrak: Penelitian yang berjudul Penerapan Sistem Deteksi Api dan Gas ini dilaksanakan di Proyek Perluasan Lapangan Utara (North Field Expansion Project/NFXP). Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi observasi langsung, wawancara, simulasi, dan studi literatur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penerapan sistem deteksi api dan gas, serta untuk mengidentifikasi tantangan dalam penerapannya di proyek NFXP. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa Sistem Deteksi Api dan Gas yang diterapkan di NFXP telah sesuai dengan standar keselamatan internasional, dan sistem tersebut mampu mendeteksi ancaman kebakaran serta kebocoran gas dengan efisiensi tinggi melalui teknologi detektor canggih, respons otomatis, serta integrasi dengan sistem keselamatan lain seperti IPS dan HVAC. Efektivitas sistem ini tercermin dari kemampuannya dalam mendeteksi ancaman dalam waktu kurang dari 5 detik, dengan cakupan deteksi mencapai target 90% oleh satu detektor dan 85% oleh dua detektor atau lebih. Tantangan utama dalam implementasi sistem ini meliputi kondisi lingkungan ekstrem, seperti korosi akibat paparan air laut dan suhu tinggi, serta munculnya alarm palsu yang mencapai sekitar 15%. Kendala lainnya adalah kurangnya pelatihan teknis bagi personel dalam mengoperasikan dan merawat sistem tersebut.

Kata kunci: Sistem Deteksi Api dan Gas, Proyek Perluasan Lapangan Utara (NFXP), Standar Keselamatan Internasional, Efisiensi Deteksi Ancaman, Tantangan Implementasi Sistem

1. LATAR BELAKANG

Industri minyak dan gas memiliki peran strategis dalam memenuhi kebutuhan energi global. Salah satu aspek penting dalam operasi industri ini adalah keberlanjutan proses produksi yang aman, khususnya di lingkungan lepas pantai yang memiliki risiko operasional tinggi. Resiko ini meliputi potensi kebakaran, ledakan, dan paparan gas beracun yang dapat

Received: Mei 30, 2025; Revised: Juni 05, 2025; Accepted: Juni 16, 2025; Publish: Juli 01, 2025;

mengancam keselamatan pekerja, merusak lingkungan, serta menyebabkan kerugian material yang signifikan. Oleh karena itu, keberadaan sistem deteksi api dan gas yang andal menjadi hal yang sangat krusial.

Lingkungan kerja di lepas pantai memiliki tantangan unik, termasuk kondisi cuaca ekstrem, lokasi yang terpencil, serta kebutuhan akan kepatuhan terhadap standar keselamatan internasional. Oleh karena itu, penerapan sistem deteksi api dan gas yang efektif memerlukan desain, instalasi, dan pengelolaan yang komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penerapan sistem deteksi api dan gas dalam menjaga keselamatan operasional di NFXP.

Sistem deteksi api dan gas pada proyek NFXP dirancang untuk memberikan perlindungan terhadap bahaya kebakaran dan kebocoran gas dengan menggunakan berbagai teknologi deteksi, seperti detektor api, gas mudah terbakar, gas beracun (contoh: H2S), dan detektor asap. Sistem ini juga dilengkapi dengan mekanisme pemadaman otomatis dan tindakan pencegahan lainnya, seperti penghentian darurat (Emergency Shutdown/ESD), untuk memastikan keselamatan pekerja dan perlindungan aset.

Proyek Ekspansi Lapangan Utara (NFXP) merupakan salah satu proyek energi terbesar di dunia yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas produksi LNG (Liquefied Natural Gas) Qatar dari 77 juta ton per tahun (MTPA) menjadi 126 MTPA. Proyek ini mencakup pembangunan infrastruktur lepas pantai, termasuk platform kepala sumur, jaringan pipa bawah laut, dan fasilitas darat yang mendukung pengangkutan dan pengolahan gas alam cair.

Salah satu aspek kritis dari proyek ini adalah implementasi sistem deteksi api dan gas, yang dirancang untuk melindungi aset, personel, dan lingkungan dari potensi bahaya. Sistem ini melibatkan integrasi teknologi canggih seperti detektor api, detektor gas beracun (contoh: H2S), detektor gas mudah terbakar, serta detektor asap. Semua komponen ini dihubungkan dengan sistem penghentian darurat (Emergency Shutdown/ESD) dan sistem pemadaman otomatis, sehingga mampu merespons dengan cepat setiap potensi ancaman.

Masalah kompleksitas lingkungan operasional lepas pantai, seperti kondisi cuaca ekstrem, lokasi terpencil, dan korosi akibat paparan air laut, menjadi tantangan besar dalam penerapan dan pemeliharaan sistem deteksi api dan gas. Oleh karena itu, pengelolaan sistem deteksi api dan gas yang optimal sangat penting untuk memastikan keselamatan dan keberlanjutan operasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penerapan sistem deteksi api dan gas serta tantangan dalam penerapannya.

2. KAJIAN TEORI

1) Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Industri Migas

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek penting dalam industri migas yang memiliki risiko tinggi terhadap kebakaran dan kebocoran gas. Menurut Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, setiap tempat kerja yang memiliki potensi bahaya wajib dilengkapi sistem perlindungan yang sesuai, termasuk sistem deteksi dini terhadap kebakaran dan gas berbahaya. Industri hulu migas seperti proyek NFXP umumnya menghadapi risiko tinggi terhadap paparan gas beracun, gas mudah terbakar, dan kebakaran akibat tekanan dan temperatur tinggi.

2) Sistem Deteksi Api dan Gas (Fire and Gas Detection System)

Sistem Deteksi Api dan Gas (Fire and Gas Detection System/F&G System) adalah sistem otomatis yang digunakan untuk mendeteksi kebakaran dan kebocoran gas pada fasilitas industri. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- a) Detektor Api (Flame Detectors): untuk mendeteksi nyala api berdasarkan sinyal ultraviolet (UV) atau inframerah (IR).
- b) Detektor Asap (Smoke Detectors): untuk mendeteksi partikel asap dari pembakaran.
- c) Detektor Gas (Gas Detectors): untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya, baik beracun maupun mudah terbakar.

Tujuan dari sistem ini adalah memberikan peringatan dini dan melakukan intervensi otomatis seperti mematikan aliran gas, mengaktifkan alarm, atau memicu sistem pemadam kebakaran.

3) Standar Internasional Sistem Deteksi Api dan Gas

Penerapan sistem F&G harus mengacu pada standar internasional yang berlaku untuk menjamin keandalan dan efektivitas sistem. Beberapa standar penting antara lain:

- a) NFPA 72 (National Fire Alarm and Signaling Code): mengatur instalasi sistem deteksi dan alarm kebakaran.
- b) IEC 61508 dan IEC 61511: mengatur keselamatan fungsional sistem berbasis elektronik di industri proses.
- c) ISA S84.01: mengatur sistem instrumentasi keselamatan.

Standar-standar ini menjelaskan persyaratan teknis, metode pengujian, serta integrasi sistem dengan unit lain seperti HVAC dan IPS (Integrated Protection System).

4) Efektivitas Sistem Deteksi

Efektivitas sistem F&G dapat diukur berdasarkan tiga indikator utama:

- a) Kecepatan Deteksi: waktu respons terhadap ancaman, idealnya kurang dari 5 detik.
- b) Cakupan Deteksi: luas area yang dapat dipantau oleh satu atau lebih detektor, dengan target minimal 90% oleh satu detektor dan 85% oleh dua detektor.
- c) Integrasi Sistem: kemampuan sistem terhubung secara otomatis dengan sistem keselamatan lainnya untuk respons cepat.

Pemanfaatan teknologi detektor modern seperti multi-spectrum IR, point gas detectors, dan flame imaging systems semakin meningkatkan efektivitas sistem ini.

5) Tantangan Implementasi di Lingkungan Ekstrem

Dalam proyek seperti North Field Expansion Project (NFXP) yang berada di lingkungan lepas pantai dan bersuhu tinggi, terdapat berbagai tantangan implementasi sistem F&G, antara lain:

- a) Kondisi Lingkungan Ekstrem: seperti korosi akibat air laut, debu, dan temperatur tinggi yang dapat memengaruhi akurasi detektor.
- b) False Alarm: alarm palsu dapat mengganggu operasional dan menurunkan kepercayaan terhadap sistem.
- c) Kurangnya Pelatihan Teknis: keterbatasan kompetensi teknis personel menyebabkan sistem tidak optimal dalam pengoperasian dan pemeliharaan.

Menurut teori manajemen risiko, mitigasi terhadap tantangan ini dapat dilakukan melalui perencanaan sistematis, pelatihan berkala, dan evaluasi rutin terhadap performa sistem deteksi.

3. METODE PENELITIAN

Pendekatan metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kualitatif. Desain Sistem dilakukan melalui perancangan sistem informasi monitoring produksi kelapa sawit PT. Gemilang Sejahtera Abadi, dengan merancang DFD (*Data Flow Diagram*), ERD (*Entity Relationship Diagram*) dan *Konteks Diagram*. Metode penyelesaian digunakan metode waterfall dengan tahapan sebagai berikut:

Dalam penelitian ini digunakan metode Observasi, wawancara, studi literatur dan simulasi. Observasi dilakukan dengan mengamati instalasi sistem deteksi api dan gas yang ada di lokasi. Fokus pengamatan meliputi kondisi perangkat, penempatannya, interaksi perangkat dengan lingkungan sekitar dan performa sistem dalam berbagai kondisi operasional.

Wawancara dilakukan dengan berbagai pihak terkait, termasuk teknisi lapangan, operator, serta manajer keselamatan. Diskusi mendalam difokuskan pada pemahaman tantangan yang dihadapi sehari-hari, keberhasilan sistem dalam menangani ancaman, serta kebutuhan perbaikan yang mendesak. Hasil wawancara ini menjadi dasar penting dalam penyusunan rekomendasi.

Studi literatur dari dokumen mencakup evaluasi laporan inspeksi, catatan pemeliharaan, dan standar operasional prosedur (SOP) spesifikasi teknis dari perangkat yang digunakan serta laporan insiden terkait kebakaran atau kebocoran gas. Data ini digunakan untuk menganalisis keandalan sistem deteksi yang diterapkan.

Simulasi darurat yang melibatkan aktivasi sistem deteksi api dan gas agar dapat mengevaluasi respons sistem terhadap berbagai skenario ancaman. Studi kasus insiden masa lalu juga digunakan untuk menilai apakah sistem deteksi mampu mencegah atau mengurangi dampak dari insiden serupa di masa depan.

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi :

1. Pengamatan dan Evaluasi Sistem Deteksi Api dan Gas:

- a. Melakukan inspeksi langsung terhadap seluruh instalasi sistem deteksi api dan gas di area operasional utama, seperti helideck, ruang kontrol, area proses, dan tempat penyimpanan bahan kimia.
- b. Menilai efektivitas berbagai jenis detektor yang digunakan, seperti detektor api berbasis UV/IR, detektor gas hidrogen sulfida (H2S), dan detektor asap dengan teknologi High Sensitivity Smoke Detection (HSSD).
- c. Melakukan peninjauan terhadap integrasi sistem deteksi dengan sistem penghentian darurat (ESD) untuk memastikan bahwa respons otomatis terhadap ancaman berjalan dengan lancar.

2. Analisis Performa Sistem Deteksi:

- a. Mengumpulkan data historis mengenai insiden yang terkait dengan kebakaran atau kebocoran gas, kemudian mengevaluasi apakah sistem deteksi telah berhasil mengurangi dampaknya.
- b. Mengidentifikasi kemungkinan false alarm yang sering terjadi, serta menganalisis penyebabnya, seperti gangguan teknis atau faktor lingkungan.
- c. Mengkaji keandalan sistem komunikasi antara perangkat deteksi dan pusat kontrol untuk memastikan transmisi data berlangsung tanpa hambatan.

3. Analisis Tantangan Operasional:

- a. Mengidentifikasi kendala teknis, termasuk korosi perangkat akibat paparan air laut, posisi pemasangan detektor yang kurang optimal, serta keterbatasan cakupan deteksi di beberapa area.
- b. Mendokumentasikan kendala non-teknis, seperti kurangnya pelatihan personel terhadap prosedur sistem deteksi dan keterbatasan dalam pengadaan suku cadang kritis.
- c. Meninjau efektivitas program pemeliharaan preventif yang diterapkan oleh instansi untuk menjaga performa optimal perangkat deteksi.

4. Penyusunan Rekomendasi:

- a. Menyusun daftar prioritas untuk perbaikan teknis berdasarkan tingkat urgensi dan potensi dampaknya terhadap keselamatan operasional.
- b. Memberikan rekomendasi mengenai pembaruan perangkat teknologi, seperti penggantian detektor lama dengan model terbaru yang lebih sensitif dan tahan korosi.
- c. Merancang program pelatihan berkala untuk personel lapangan, dengan fokus pada pengoperasian dan pemeliharaan sistem deteksi api dan gas.
- d. Mengusulkan peningkatan sistem pemantauan berbasis digital untuk mempermudah pelacakan status perangkat secara real-time.

5. Simulasi Sistem Darurat:

- a. Berpartisipasi dalam simulasi prosedur darurat untuk mengamati cara sistem deteksi api dan gas berfungsi dalam skenario kebakaran atau kebocoran gas.
- b. Mengevaluasi kecepatan dan ketepatan respons sistem dalam memicu alarm, penghentian darurat, dan aktivasi sistem pemadaman otomatis.
- c. Menyusun laporan mengenai hasil simulasi, termasuk identifikasi kelemahan yang memerlukan perhatian segera.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem deteksi api dan gas yang diterapkan pada NFXP dirancang dengan fitur utama yang mencakup deteksi dini bahaya, respon otomatis dan integrasi dengan sistem lain. Sistem deteksi dini bahaya untuk mendeteksi kebocoran gas beracun dan kebakaran sedini mungkin untuk meminimalkan risiko terhadap personel dan aset. Sistem respons otomatis dapat secara otomatis menginisiasi Emergency Shutdown (ESD), isolasi, dan depresurisasi pada peralatan terkait, sesuai dengan kondisi bahaya yang terdeteksi. Integrasi sistem yang terintegrasi dengan

perlindungan kebakaran otomatis seperti sistem pemadaman dan sistem HVAC untuk mitigasi lebih lanjut.

Detektor dalam sistem deteksi api dan gas meliputi detektor api, detektor gas dan detektor asap. Detektor api menggunakan teknologi UV/IR yang tahan terhadap cahaya matahari dan sumber cahaya buatan. Detektor gas mendeteksi gas beracun seperti H₂S serta gas mudah terbakar. Detektor asap untuk area yang memerlukan perlindungan tinggi.

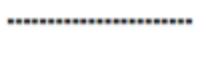
Zona deteksi kebakaran dirancang untuk membagi area menjadi beberapa bagian, dengan masing-masing zona memiliki fungsi deteksi dan respons yang spesifik seperti pada tabel 1 berikut.

Tabel 1 Zona Deteksi Kebakaran

Fire Zone	Description
Fire Zone 1	Helideck
Fire Zone 2	Upper deck & Offshore Crane Cabin
Fire Zone 3	Mezzanine deck
Fire Zone 4	Well bay area (lower deck & access)
Fire Zone 5	Lower deck
Fire Zone 6	Cellar deck & Top of the Jacket
Fire Zone 7	CAM Building (Including Air lock Room, Break Room & HVAC Air intake)
Fire Zone 8	HV Room (Including Air lock Room & HVAC Air intake)
Fire Zone 9	Temporary Refuge Room (Including Air lock Room & HVAC Air intake)
Fire Zone B	Battery Room
Fire Zone A	Transformer Room

Sementara itu sistem alarm dilengkapi dengan nada dan indikasi visual untuk memastikan respon cepat terhadap berbagai kondisi darurat seperti pada tabel 2 berikut:

Tabel 2 Sistem Alarm

Emergency	Alarm Type	Alarm	Visual Indication	Reason
Toxic gas Alarm	Warble 600-1000Hz		Yellow flashing	10ppm H ₂ S detected by single detector
General Platform Alarm (GPA)	Intermittent Tone 1000Hz		Red flashing	Fire / Fuel /Gas Leak / H ₂ S > 50ppm
Abandon Platform Alarm (PAPA)	Continuous Tone 600Hz		Red flashing	Actuation at OIM's direction

Untuk meminimalkan risiko false alarm, sistem menggunakan logika voting, di mana tindakan eksekutif hanya akan dilakukan jika lebih dari satu detektor mendeteksi ancaman secara bersamaan. Logika ini diterapkan untuk alarm kritis seperti kebocoran gas beracun dan kebakaran besar.

Selain detektor dan alarm, sistem deteksi api dan gas juga terintegrasi dengan Sistem HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) untuk mencegah penyebaran gas beracun dan sistem IPS (Integrated Protection System) untuk memastikan semua perangkat keselamatan, termasuk deteksi api dan gas, bekerja secara sinkron untuk mengurangi risiko secara signifikan.

Penerapan Sistem Deteksi Api dan Gas

Sistem deteksi api dan gas di NFXP telah dirancang untuk memberikan perlindungan menyeluruh terhadap berbagai ancaman dengan pendekatan sebagai berikut:

1. Desain Sistem

Lokasi dan jenis detektor dipilih berdasarkan analisis risiko (Risk Assessment) dan studi pemetaan Fire & Gas (F&G). Setiap zona operasional dilengkapi dengan detektor yang sesuai dengan potensi bahaya lokal, seperti gas beracun di ruang ventilasi dan api di area produksi.

2. Efektivitas Respon

Sistem ini terbukti mampu mendeteksi ancaman dalam waktu kurang dari 5 detik, yang diikuti oleh tindakan otomatis seperti aktivasi alarm, isolasi area, dan penghentian operasional (Emergency Shutdown).

3. Standar Internasional

Sistem memenuhi regulasi keselamatan seperti NFPA 72 (National Fire Alarm and Signaling Code) dan API RP 14C (Recommended Practice for Basic Surface Safety Systems for Offshore Platforms).

Keberhasilan penerapan sistem deteksi api dan gas adalah sebagai berikut:

a) Cakupan Deteksi

90% ancaman berhasil dideteksi oleh satu detektor, dan 85% oleh dua detektor atau lebih, sesuai dengan target kinerja yang telah ditetapkan.

b) Integrasi Sistem

Sistem terhubung dengan HVAC dan IPS untuk memastikan perlindungan menyeluruh.

Beberapa indikator keberhasilan Penerapan Sistem Deteksi Api dan Gas adalah:

1. Efisiensi Deteksi
 - a) Sistem mampu mendeteksi ancaman dalam waktu kurang dari 5 detik setelah eksposur gas atau api.
 - b) 90% ancaman berhasil dideteksi oleh satu detektor, sementara 85% oleh dua detektor atau lebih.
2. Integrasi Keselamatan
 - a) Sistem terhubung langsung dengan Integrated Protection System (IPS), memungkinkan koordinasi yang efektif antara berbagai perangkat keselamatan.
 - b) Fitur shutdown otomatis pada kasus ancaman multipel membantu mengurangi risiko eskalasi insiden.
3. Pemenuhan Standar Internasional

Sistem ini dirancang sesuai dengan standar NFPA 72 dan API RP 14C, memastikan keandalan dan keamanan operasional.

Tantangan dalam penerapan Sistem Deteksi Api dan gas adalah :

1. Kondisi Lingkungan Ekstrem
 - a) Detektor sering terpapar air laut, angin asin, dan suhu tinggi, yang dapat memengaruhi keandalannya.
 - b) Beberapa komponen mengalami korosi, memerlukan penggantian lebih sering dari yang direncanakan.
2. False Alarm
Sekitar 15% alarm yang dihasilkan merupakan false alarm, disebabkan oleh gangguan eksternal seperti burung, perubahan suhu mendadak, atau kontaminasi.
3. Kurangnya Kompetensi Personel
 - a) Beberapa teknisi belum memiliki pelatihan memadai untuk mengoperasikan atau memelihara perangkat dengan optimal.
 - b) Koordinasi antar tim operasional kadang menghadapi kendala komunikasi, terutama pada saat darurat.

Dampak dari penerapan system deteksi api dan gas adalah sebagai berikut :

1. Positif
 - a) Meningkatkan kepercayaan operasional karena perlindungan yang terintegrasi dan respons cepat terhadap ancaman.

- b) Membantu meminimalkan kerugian material dan risiko terhadap personel selama operasi.
2. Negatif
- a) False alarm yang sering terjadi dapat mengurangi kepercayaan terhadap sistem jika tidak segera diatasi.
 - b) Biaya pemeliharaan meningkat karena kebutuhan penggantian perangkat yang lebih sering.

Beberapa Upaya yang dilakukan dalam menghadapi tantangan dalam penerapan sistem deteksi api dan gas adalah :

1. Inspeksi Rutin. Frekuensi inspeksi ditingkatkan untuk mengidentifikasi potensi kerusakan sebelum eskalasi terjadi.
2. Pembaruan Teknologi. Detektor yang lebih tahan korosi dan tahan suhu tinggi diusulkan untuk menggantikan perangkat lama.
3. Pelatihan Teknis. Program pelatihan intensif dirancang untuk meningkatkan kompetensi personel dalam mengoperasikan dan memelihara sistem deteksi.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Penerapan Sistem Deteksi Api dan Gas di NFXP telah dirancang dan diterapkan sesuai dengan standar keselamatan internasional, seperti NFPA 72 dan API RP 14C. Sistem ini mampu mendeteksi ancaman kebakaran dan kebocoran gas dengan efisiensi tinggi melalui teknologi detektor canggih, respons otomatis, dan integrasi dengan sistem keselamatan lainnya seperti IPS dan HVAC. Efektivitas sistem ini tercermin dari kemampuan deteksi ancaman dalam waktu kurang dari 5 detik, dengan cakupan deteksi yang memenuhi target 90% oleh satu detektor dan 85% oleh dua detektor atau lebih.
2. Tantangan utama dalam penerapan Sistem Deteksi Api dan Gas meliputi kondisi lingkungan ekstrem, seperti korosi akibat paparan air laut dan suhu tinggi, serta false alarm yang mencapai sekitar 15%. Kendala lain adalah kurangnya pelatihan teknis bagi personel dalam mengoperasikan dan memelihara sistem. Langkah mitigasi seperti inspeksi rutin, penggantian perangkat, dan pelatihan intensif telah membantu mengurangi dampak tantangan tersebut.

DAFTAR REFERENSI

- Artana, K. B., & Dinariyana, A. A. B. (2013). *Teori keandalan sistem dan aplikasinya*. Guna Widya.
- Baskoro, D. H. (2019). *Penilaian risiko potensi kebakaran dan ledakan pada floating regasification unit (FSRU)* [Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Center for Chemical Process Safety. (2000). *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis* (2nd ed.). American Institute of Chemical Engineers.
- Center for Chemical Process Safety. (2001). *Layers of protection analysis: Simplified process risk assessment*. American Institute of Chemical Engineers.
- Chiara Vianello, & Maschio, G. (2014). Risk analysis of LNG terminal: Case study. *Chemical Engineering Transactions*, 36, 349–354. <https://doi.org/10.3303/CET1436059>
- Heidari, P. A. (2014). *Quantitative risk assessment in Iran's natural gas distribution network* [Tesis, Sharif University of Technology].
- Koliopoulos, T. (2017). *FSRU terminal risk assessment*. Cynergy Project.
- Kontovas, C. A. (2006). *Safety assessment: A critical review and ways to strengthen it and make it more transparent* [Tesis, Liverpool John Moores University].
- Munir, M. (2013). *Fire risk assessment of gas liquefaction process in FLNG unit* [Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Nolan, D. P. (2011). *Fire and explosion protection engineering principles*. Elsevier.
- Pratama, R. H. (2009). *Risk assessment tanker LNG dalam studi kasus supply LNG dari ladang Tangguh ke Teluk Benoa Bali* [Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Soegiono, K. B. A. (2013). *Transportasi LNG Indonesia*. Airlangga University Press.
- Standard, B. (2001). *Hazard and operability studies (HAZOP studies): Application guide*. International Electrotechnical Commission.
- Sudiasih, L. (2018). *Fire risk assessment for conceptual design of FSRU Jayapura* [Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Tin, H. T. (2014). *Application of quantitative risk assessment approach on offshore oil & gas industry* [Tesis, Ho Chi Minh City University of Technology].