JOURNAL OF INSTRUMENTATION AND HARDWARE
ISSN: 3047-180X (Online)
Vol. 4 No. 1 (2026) 30 – 35
https://jih.akamigas.ac,.id/index.php/inhardware

INHARDWARE

Rancang Bangun Safety Instrumented System Pada Meter Regulating Station (MR/S)

Mochamad Rizky Pradana[1]*, Rahmat Friandi Ramadhan[1], M Syauqi Sada Putra[1]*

[1] *Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas Cepu – Blora – Central Java, 58311, INDONESIA*

*Corresponding Author: mochamad.pradana@esdm.go.id
DOI: https://doi.org/10.53026/r8171377

Article Info

Received: 20 Desember 2025
Accepted: 1 Juni 2026
Available online: 20 Juni 2026

Keywords

Safety Instrumented System, SIS, Meter Regulating Station, MR/S, Fault Tree Analysis, FTA, Mean Time To Failure, MTTF, Probability of Failure on Demand, PFDavg

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun Safety Instrumented System (SIS) yang efisien dan adaptif guna meningkatkan keselamatan operasional di Metering Regulating Station (MRS). Sistem ini menggunakan dua sensor utama, yaitu flame detector dan gas detector, untuk mendeteksi ancaman kebakaran dan kebocoran gas yang berpotensi menimbulkan kecelakaan atau kerusakan serius. Prototipe sistem terdiri dari dua Safety Instrumented Function (SIF) yang didukung oleh kontroler PLC Outseal Mega V2, yang memproses data dari sensor dan menghasilkan output berupa alarm, indikator, solenoid valve, dan pompa. Evaluasi kinerja sistem SIS dilakukan dengan metode Fault Tree Analysis (FTA) untuk menilai Safety Integrity Level (SIL) prototipe. Data maintenance seperti Mean Time To Failure (MTTF) diperoleh dari OREDA 22 HANDBOOK dan digunakan untuk menghitung Probability of Failure on Demand (PFD) dari setiap komponen SIS. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem SIS yang dikembangkan memiliki nilai PFD 0,551 dan berada diluar jangkauan SIL

Abstract

This study is conducted to design efficient and adaptive Safety Instrumented System (SIS) to improve the operational safety on Metering Regulating Stasion (MRS). This system uses two main sensors, which are flame detector and gas detector. These sensors are used to detect fire hazards and gas leaks that can generate accidents and serious property damage. System prototype consists of two safety instrument function (SIF) that is supported by Outseal Mega V2 PLC Controller to process the data from sensors. Those data are analyzed to control the alarms, indicators, solenoid valves, and pumps. Performance evaluation of SIS system is done using Fault Tree Analysis (FTA) method to evaluate Safety Integrity Level (SIL) of the prototype. The maintenance data, such as Mean Time To Failure (MTTF) is obtained using OREDA 22 Handbook to calculate Probability of Failure on Demand (PFD) from each SIS components. The study results evaluate that the SIS system has PFD value of 0,551 and beyond the SIL

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license.

© 2026 TIK PEM Akamigas Publisher.
https://jih.akamigas.ac.id/index.php/inhardware

Journal of Instrumentation and Hardware Vol. 4 No. 1 (2026) p. 30-35

1. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas adalah sektor penting yang menyediakan energi untuk berbagai aspek kehidupan. Dalam sektor ini, Metering Regulating Station (MRS) berperan penting dalam mengatur aliran gas ke jaringan distribusi untuk konsumen akhir. Namun, operasi MRS tidak bebas dari risiko, seperti ledakan, kebocoran, dan ancaman lainnya yang dapat mengancam keselamatan pekerja, masyarakat sekitar, dan lingkungan [1]. Untuk mengatasi risiko-risiko tersebut, Safety Instrumented System (SIS) dianggap sebagai solusi yang efektif. SIS berfungsi mendeteksi potensi ancaman dan mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan untuk meminimalkan risiko kecelakaan dan kerusakan [2]. Sebagai perbandingan, SIS telah diterapkan pada Drain Reheater pada pembangkit Listrik tenaga nuklir dengan tekanan kerja sebesar 758 kpag dan temperature 237^{o}C. [3]

Oleh karena itu, penerapan sistem keselamatan yang handal dan responsif menjadi sangat penting. Teknologi PLC (Programmable Logic Controller) telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri untuk mengontrol dan mengotomatisasi proses, termasuk dalam sistem keselamatan [4]. Penggunaan PLC pada SIS telah diterapkan pada Sistem Mini Pasteurisasi. Dalam proses miniatur pasteurisasi, parameter kondisi kritis melibatkan tingkat suhu yang sangat tinggi pada tangki air panas, sehingga diperlukan SIS [5].

Safety Integrity Level (SIL) adalah metode analisis risiko yang digunakan untuk menghitung dan menilai risiko terkait potensi bahaya tertentu. Tujuannya adalah memastikan bahwa sistem keselamatan dapat berfungsi secara efektif dalam mencegah kondisi yang tidak diinginkan saat situasi berbahaya terjadi. Untuk menjaga keamanan operasional, *Safety Instrumented Function* (SIF) digunakan sebagai lapisan perlindungan guna melindungi sistem dari potensi bahaya. Sistem utama yang digunakan untuk tujuan keselamatan ini adalah *Safety Instrumented System* (SIS), yang telah ditetapkan dengan nilai SIL tertentu untuk setiap SIF [6].

Tabel 1. *Safety Integrity Level*

Safety Integrity Level	Probability of failure on Demand per year (or low demand)	Risk Reduction Factor	Probability of Dangerous failure per hour
SIL 4	≥ 10^{-5} to < 10^{-4}	From 100000 to 10000	≥ 10^{-5} to < 10^{-4}
SIL 3	≥ 10^{-4} to < 10^{-3}	From 10000 to 1000	≥ 10^{-4} to < 10^{-3}
SIL 2	≥ 10^{-3} to < 10^{-2}	From 1000 to 100	≥ 10^{-3} to < 10^{-2}
SIL 1	≥ 10^{-2} to < 10^{-1}	From 100 to 10	≥ 10^{-2} to < 10^{-1}

SIL memiliki dua mode operasi utama, yaitu *demand mode* dan *continuous mode. Demand mode* adalah kondisi di mana SIF diaktifkan secara responsif saat terjadi keadaan darurat. Sebaliknya, continuous mode adalah kondisi di mana SIF beroperasi terus-menerus untuk memastikan proses tetap aman. Tabel 1. menunjukkan standar nilai SIL yang ditetapkan untuk *demand mode* dan *continuous mode*, yang merupakan referensi penting dalam menentukan keandalan dan kinerja sistem keselamatan. Penggunaan SIL menjadi kunci utama dalam memastikan bahwa sistem keselamatan dapat beroperasi secara efektif dan efisien dalam mengatasi risiko bahaya yang mungkin timbul [7]. Metode yang digunakan dalam menentukan SIL dapat dibagi menjadi dua yaitu metode kualitatif (SIL Determination Method) dan metode kuantitatif (Kalkulasi Nilai SIL).

2. METODA

Penelitian ini membahas mengenai penentuan SIL pada MRS berdasarkan metode kuantitatif. Metode kuantitatif dilakukan dengan cara analisis terhadap frekuensi kegagalan setiap komponen atau instrumen berdasar-kan data pemeliharaan. Proses ini melibatkan evaluasi mendalam terhadap seberapa sering dan sejauh apa komponen atau instrumen dapat mengalami kegagalan atau kerusakan, dengan mempertimbangkan catatan pemeliharaan historis.

Dengan memeriksa data pemeliharaan yang tersedia, para ahli dapat mengidentifikasi pola atau tren terkait kegagalan atau kerusakan yang mungkin terjadi pada komponen atau instrumen tertentu. Informasi ini digunakan untuk menghitung probabilitas atau peluang kegagalan, yang penting dalam menetapkan nilai SIL yang tepat untuk masing-masing kom-ponen atau instrumen dalam sistem [12]. Metode kuantitatif perhitungan SIL dilakukan dengan cara menghitung beberapa variable seperti:

2.1 Failure Rate

Failure rate, yang juga dikenal sebagai laju kegagalan, merupakan perbandingan antara jumlah kegagalan yang terjadi pada suatu peralatan dengan total waktu operasi dari komponen tersebut. Secara matematis, hubungan antara failure rate (λ) dan Mean Time to Failure (MTTF) dapat dijelaskan melalui persamaan berikut:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (1)$$

Dalam persamaan tersebut, λ mewakili laju kegagalan atau failure rate, sedangkan MTTF (Mean Time to Failure) menunjukkan waktu rata-rata antara kegagalan pada suatu peralatan.

2.2 Probability Failure on Demand Average (PFDavg)

Untuk menentukan tingkat kegagalan, dilakukan analisis terhadap data pemeliharaan dan catatan kegagalan yang terdokumentasi dengan baik. Penting untuk dicatat bahwa rumus yang digunakan untuk menghitung PFD dari suatu arsitektur MooN akan bervariasi tergantung pada konfigurasi spesifik sistem MooN tersebut. Tabel 1 menyajikan rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung PFD dari arsitektur MooN tertentu, yang memperhitungkan komponen-komponen kunci serta faktor-faktor penting lainnya yang terlibat dalam memastikan kehandalan sistem secara keseluruhan.

Tabel 2. *MooN Architecture Formula*

Architecture	PFDavg TI = 1 Year	PFDavg TI = 3 Year	PFDavg TI = 5 Year	PFDavg TI = 10 Year
1oo1	$\lambda_{DU}/2$	$3 \times \lambda_{DU}/2$	$5 \times \lambda_{DU}/2$	$10 \times \lambda_{DU}/2$
1oo2	$\lambda_{DU}^2/2$	$9 \times \lambda_{DU}/2$	$25 \times \lambda_{DU}^2/3$	$100 \times \lambda_{DU}^2/3$
1oo2D	$\lambda_{DU}^2/3$	$9 \times \lambda_{DU}/2$	$25 \times \lambda_{DU}/2$	$100 \times \lambda_{DU}^2/3$
1oo3	$\lambda_{DU}^2/4$	$27 \times \lambda_{DU}/2$	$125 \times \lambda_{DU}/2$	$1000 \times \lambda_{DU}^2/4$
2oo2	λ_{DU}	$3 \times \lambda_{DU}$	$5 \times \lambda_{DU}$	$10 \times \lambda_{DU}$
2oo2D	λ_{DU}	$3 \times \lambda_{DU}$	$5 \times \lambda_{DU}$	$10 \times \lambda_{DU}$
2oo3	λ_{DU}^2	$9 \times \lambda_{DU}^2$	$25 \times \lambda_{DU}^2$	$100 \times \lambda_{DU}^2$
2oo4	λ_{DU}^2	$27 \times \lambda_{DU}^2$	$125 \times \lambda_{DU}^2$	$1000 \times \lambda_{DU}^2$

Safety instrumented system (SIS) pada Metering/Regulating Station (MRS) memanfaatkan sensor flame dan sensor kebocoran gas untuk memastikan keselamatan operasional pada instalasi gas. Sensor flame digunakan untuk mendeteksi keberadaan nyala api atau api yang tidak diinginkan. Ketika sensor ini mendeteksi adanya nyala yang tidak terkendali, sistem keselamatan akan merespons dengan memicu tindakan pengamanan seperti mematikan aliran untuk mencegah risiko kebakaran yang lebih besar.

Sensor kebocoran gas digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas yang mungkin terjadi pada sistem. Sensor ini membantu dalam mengidentifikasi kebocoran yang dapat menjadi ancaman keselamatan atau menyebabkan risiko kebakaran atau ledakan. Ketika sensor ini mendeteksi kebocoran gas, sistem keselamatan dapat mengambil tindakan cepat, seperti menutup jalur gas yang bocor atau memicu alarm untuk memberi peringatan kepada operator atau sistem kontrol.

Dalam pengerjaan penelitian ini dua sensor tersebut berperan penting dalam keselamatan pada MRS, apabila salah satu ataupun kedua sensor tertrigger dan terbaca oleh PLC maka, PLC akan memerintahkan solenoid untuk menutup slumshut valve. Berikut adalah komponen-komponen yang berpengaruh pada keselamatan pada MRS sehingga harus diperhitungkan nilai MTTF-nya seperti pada gambar 1.

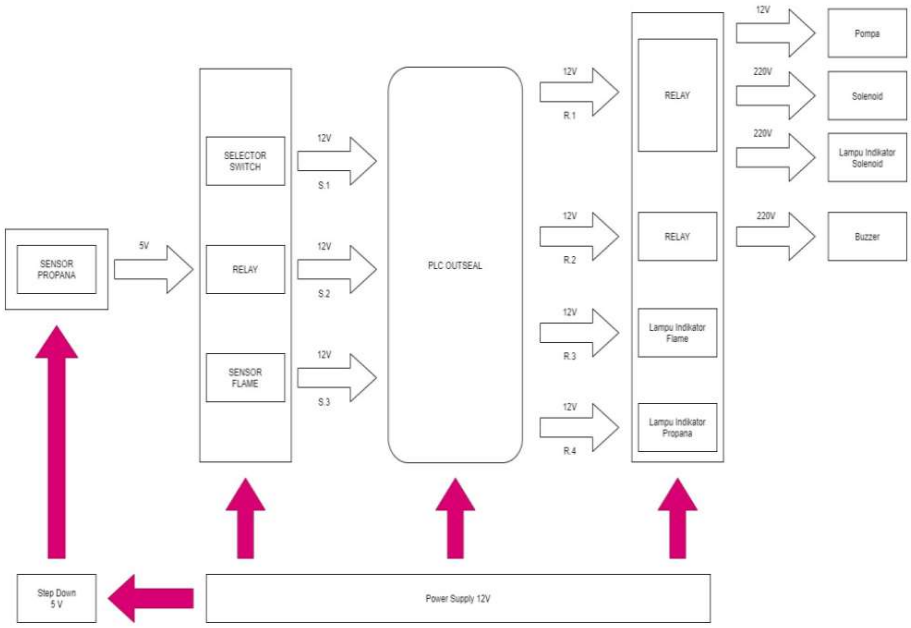


(a) (b) (c) (d) (e)

Gambar 1 (a) *PLC Outseal Mega* (b) *Sensor Gas Propana MQ-2* (c) *Sensor Api Honeywell 700/800* (d) *Solenoid Valve* (e) *Pompa*

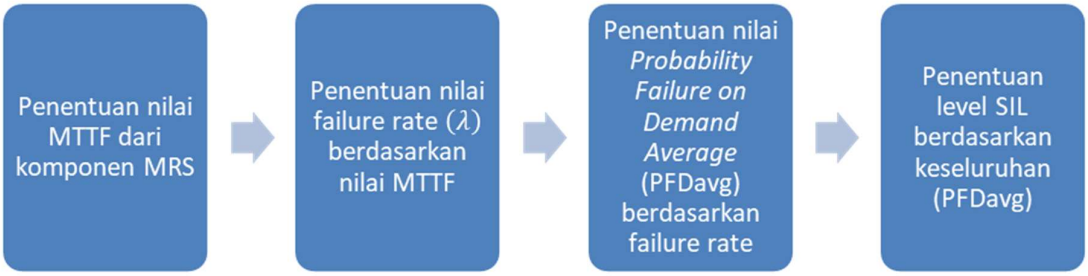
Jika ada deteksi dari sensor flame dan gas detector, sistem akan mengirim sinyal ke PLC untuk menjalankan aksi tertentu, seperti menutup final control element dan mengaktifkan alarm. Sedangkan gambar 2 rancangan prototype alat keseluruhan yang menggabungkan berbagai komponen untuk sistem keselamatan yang menggunakan sensor flame dan gas detector, kontrol PLC, serta elemen pengontrol akhir. Sensor flame dirancang untuk mendeteksi keberadaan api, sementara gas detector akan mendeteksi adanya kebocoran gas. Kedua sensor ini akan mengirim sinyal ke PLC ketika mendeteksi kondisi yang mencurigakan. PLC (Programmable Logic Controller) akan bertindak sebagai otak dari sistem, menerima sinyal dari sensor flame dan gas detector, menganalisis data yang diterima, dan mengambil keputusan yang sesuai berdasarkan pada algoritma yang telah diprogram sebelumnya. PLC juga akan mengontrol operasi dari elemen pengontrol akhir.

Journal of Instrumentation and Hardware Vol. 4 No. 1 (2026) p. 30-35



Gambar 2. *Blok Diagram Sistem*

Penelitian ini dimulai dengan menghitung nilai MTTF dari tiap komponen yang berpengaruh pada safety dari MRS. Lalu berdasarkan nilai tersebut, nilai failure rate (λ) dihitung. Setelah menghitung nilai failure rate akan didapatkan nilai PFDavg berdasarkan waktu kerusakan yang ditentukan dan arsitektur yang digunakan. Terakhir dengan menjumlahkan nilai PDFavg, maka level dari SIL dapat ditentukan. Flowchart dari penelitian ini ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 3. *Flowchart Penelitian SIL dari MRS*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari implementasi sistem SIS pada MRS menunjukkan bahwa sistem ini mampu mendeteksi dan merespons ancaman kebakaran dan kebocoran gas dengan efisiensi yang tinggi. Aktivasi alarm, lampu indikator, katup solenoid, dan pompa terjadi dengan cepat sesuai dengan data yang diterima dari sensor. Hal ini menunjukkan bahwa kontroler PLC Outseal Mega V2 mampu memproses data secara akurat dan menghasilkan output yang tepat waktu, yang sesuai dengan teori pengendalian otomatis menggunakan PLC. Pada penelitian ini, time interval proof test dilakukan setiap lima tahun (5) sekali.

Perbandingan dengan data Mean Time To Failure (MTTF) dari OREDA 22 HANDBOOK [14] menunjukkan bahwa komponen-komponen yang digunakan dalam sistem memiliki keandalan yang tinggi. Hal ini sejalan dengan temuan dari berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan sensor flame dan gas yang berkualitas tinggi dapat meningkatkan keandalan sistem keselamatan.

3.1 Perhitungan PFDavg Rata-Rata

Sebelum penelitian dilakukan, dicatat terlebih dahulu nilai MTTF per tahun dari tiap komponen SIS pada MRS. Nilai MTTF tersebut tertera pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. *Nilai MTTF Komponen MRS*

No	Instrumen	MTTF (Year)	Arsitektur
1	Logic Solver PLC	49,75	1oo1
2	Solenoid Valve	31,61735	1oo1
3	Pompa	8,6743	1oo1
4	Sensor Gas	37,037	2oo2

1. Perhitungan PFDavg pada *logic solver* 1oo1
   $\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{49,75} = 2,01\ x\ 10^{-2}$
   $PFD_{avg1o} = 5\ x\ \frac{\lambda_{DU}}{2} = 5\ x\ \frac{2,01\ x\ 10^{-2}}{2} = 5,02\ x10^{-2}$
2. Perhitungan PFDavg pada *solenoid valve* 1oo1
   $\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{31,61} = 3,16\ x\ 10^{-2}$
   $PFD_{avg1o} = 5\ x\ \frac{\lambda_{DU}}{2} = 5\ x\ \frac{3,16\ x\ 10^{-2}}{2} = 7,9\ x10^{-2}$
3. Perhitungan PFDavg pada *pompa* 1oo1
   $\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{8,67} = 11,5\ x\ 10^{-2}$
   $PFD_{avg1oo1} = 5\ x\ \frac{\lambda_{DU}}{2} = 5\ x\ \frac{11,5\ x\ 10^{-2}}{2} = 2,87\ x10^{-1}$
4. Perhitungan PFDavg pada *gas detector* 2oo2
   $\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{37,07} = 2,7\ x\ 10^{-2}$
   $PFD_{avg1oo1} = 5\ x\ \lambda_{DU} = 5\ x\ 2,7\ x\ 10^{-2} = 1,35\ x10^{-1}$
5. Perhitungan PFDavg pada *flame detector* (Datasheet Sensor Api Honeywell 700/800)
   $\lambda = \frac{1}{MTTF}$ = 1,02 x 10^{-5}
   $PFD_{average1oo1}$ = 1,51 x 10^{-5}

3.2 Perhitungan Nilai SIL

Nilai SIL dari tiap komponen ditentukan berdasarkan nilai PFDavg nya sebagaimana yang disajikan pada tabel 5. Perhitungan PFDavg keseluruhan dilakukan dengan menjumlahkan nilai PFD total seluruh komponen berdasarkan aturan ISA-TR84.00.02-2002-Part 2, sebagai berikut:

$$PFD_{SIS} = \sum PFD_{Sensor} + \sum PFD_{Logic\ Solver} + \sum PFD_{Final\ Element}$$
$$PFD_{SIS} = (1,35\ x10^{-1} + 1,51\ x10^{-5}) + (5,02\ x10^{-2}) + (7,9\ x10^{-2} + 2,87\ x10^{-1})$$
$$PFD_{SIS} = 55,1 \text{ x } 10^{-1} = 0,551$$

Berdasarkan perhitungan, nilai PFD Sistem adalah 0,551. Hal ini menandakan bahwa sistem berada diatas batas SIL, sehingga rawan terjadi kerusakan

Tabel 4. *Hasil Failure Rate dan PFDavg komponen*

No	Tag	Failure Rate	PFDavg	SIL
1	Logic Solver	$2,01\ x\ 10^{-2}$	$5,02\ x10^{-2}$	1
2	Solenoid Valve	$3,16\ x\ 10^{-2}$	$7,9\ x10^{-2}$	1
3	Pompa	$11,5\ x\ 10^{-2}$	$2,87\ x10^{-1}$	Beyond SIL
4	Sensor Gas	$2,7\ x\ 10^{-2}$	$1,35\ x10^{-1}$	Beyond SIL
5	Sensor Api	1,02 x 10^{-5}	1,51 x 10^{-5}	3

4. KESIMPULAN

SIS (Safety Instrumentated System) bekerja dengan dasar penentuan level SIL (safety integrity level) dari sebuah sistem. Secara keseluruhan, PFD sistem metering regulating station MRS memiliki nilai 0,551 dan berada diluar jangkauan SIL 1. Hal ini berarti sistem akan cenderung gagal ketika berada pada keadaan kritikal karena PFDavg nya terlalu tinggi. Hal in menyebabkan aksi perbaikan diperlukan. Salah satu saran perbaikan adalah penggantian elemen aktuator pompa, dikarenakan MTTF nya terlalu rendah sehingga sering dibutuhkan perbaikan.

Lalu, Penerapan safety instrumented system (SIS) pada metering regulating station (MRS) menghadapi tantangan integrasi dengan karakteristik operasional unik MRS, seperti fluktuasi tekanan, suhu, dan volume aliran gas. Karakteristik operasional MRS, termasuk fluktuasi tekanan, suhu, dan volume aliran gas, mempengaruhi desain dan pengaturan parameter SIS untuk memastikan respons yang cepat dan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anderson, J. (2018). Understanding Metering and Regulating Stations (MRS) in Gas Distribution Networks. Journal of Gas Technology, 23(2), 56-71.
[2] Smith, J. (2020). Fundamentals of safety instrumented systems.
[3] Nasimi, E, Gabbar, H.A (2016). Application of Safety Instrumented System (SIS) Approach in Older Nucler Power Plant, Nuclear Engineering and Design 301 (2016) 1–14
[4] Romadhon, M. F. (2023). Rancang Bangun safety instrumented system Berbasis Progammable Logic Controller Pada Simulator Pressure.
[5] N. Nugraheni, S. H. (2018). "Perancangan dan Implementasi safety instrumented system pada Miniatur Pasteurisasi Menggunakan Programmable Logic Controller,". vol. 10, no. 1,.
[6] Kuphaldt, T. R. (2008-2018). Lessons In Industrial Instrumentation. International Public License.
[7] Exida. (2006). IEC 61508 Overview Report, Version 2.0, January 2, 2006.
[8] Gulland, W.G. (2004). Methods of Determining Safety Integrity Level (SIL) Requirements - Pros and Cons. In: Redmill, F., Anderson, T. (eds) Practical Elements of Safety. Springer, London.
[9] King, A. G. (2009). SIL DETERMINATION AND PROBLEMS WITH THE APPLICATION OF LOPA†. IChemE SYMPOSIUM SERIES NO. 155, 287-293.
[10] Torres-Echeverria, A. (2014). On the Use of On the Use of LOPA and Risk Graphs for SIL LOPA and Risk Graphs for SIL determinant determination ion.
[11] Prakoso, Amarendra Bagus (2016) Hazard and Operability Study (HAZOP) Dan Safety Integrity Level (SIL) Dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA) Pada Fuel Gas Superheat Burner Unit Ammonia PT. Petrokimia Gresik. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
[12] MAGNETROL. (2019). UNDERSTANDING SAFETY INTEGRITY LEVEL. Magnetrol International, Incorporated
[13] Gabriel, A. (2017). Design and Evaluation of safety instrumented systems: A Simplified and Enhanced Approach. IEEE Access, vol. 5, 3813–3823.
[14] SINTEF Industrial Management (2015). Offshore and Onshore Reliability Data Handbook 6th Edition. OREDA Participants