

RANCANG BANGUN SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM PADA METERING REGULATING STATION

Mochamad Rizky Pradana¹, Rahmat Friandi Ramadhan¹, M Syauqi Sada Putra¹

¹Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas
Cepu, 58315, Indonesia

*Email: Mochamad.Pradana@esdm.go.id

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 sesuai dengan program yang diprogram menggunakan Outseal Studio. 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. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi SIS dengan karakteristik operasional MRS sangat kompleks, dan penggunaan teknologi terbaru seperti sensor flame dan gas sangat penting untuk meningkatkan responsivitas terhadap ancaman keamanan. Meskipun implementasi SIS menawarkan manfaat signifikan dalam meningkatkan keselamatan operasional, tantangan seperti biaya implementasi dan pemeliharaan harus diperhatikan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem SIS yang dikembangkan efisien dan adaptif, dengan nilai PFD 0,192 dan SIL 1.

Kata kunci: *Safety Instrumented System, Metering Regulating Station, Fault Tree Analysis, Mean Time To Failure, Safety Integrity Level, Sensor flame, Sensor gas*

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°C. [3]

Oleh karena itu, penerapan sistem keselamatan yang handal dan responsif menjadi sangat penting. Teknologi *Programmable Logic Controller* (PLC) 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].

2. METODE

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].

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*).

Tabel 1. Safety Integrity Level

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

Dalam menentukan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) secara kualitatif (*SIL Determination Method*), terdapat dua metode yang sering digunakan, yaitu [8]:

- Analisis Lapisan Proteksi (*Layer of Protection Analysis*)

Layer of Protection Analysis (LOPA) adalah metode kuantitatif untuk penilaian risiko bahaya yang menggunakan kategori urutan dan estimasi kemungkinan untuk frekuensi kejadian, tingkat keparahan konsekuensi, dan probabilitas kegagalan lapisan perlindungan independen (*Independent Protection Layers/IPLs*) [9]. Probabilitas kejadian kemudian dibandingkan dengan kriteria risiko bahaya yang ada untuk menentukan reduksi risiko yang diperlukan oleh *Safety Instrumented Function* (SIF) [10]. Tabel 2. yang terlampir menunjukkan contoh tabel LOPA yang digunakan dalam penilaian risiko tersebut.-

Tabel 2. Layer of Protection Analysis

1	2	3	4	5				6	7	8	9	10	11	12	13	
Impact even description	Severity level	Initiating cause description	Initiation likelihood (freq per year)	Protection layers (probability of failure)				Control system failure	Alarm & operator action	Other protection devices	Other mitigation measures	Occupancy factor	Probability of ignition	Intermediate event likelihood	Torale risk likelihood	Risk reduction factor

Metode LOPA digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi risiko secara terperinci dengan mempertimbangkan faktor-faktor penting seperti kemungkinan terjadinya kejadian, dampaknya, dan kinerja lapisan perlindungan yang ada. Dengan membandingkan probabilitas kejadian dengan kriteria risiko yang telah ditetapkan, LOPA dapat membantu menentukan

langkah-langkah pengurangan risiko yang diperlukan untuk memastikan keselamatan sistem secara keseluruhan.

- Analisis Pohon Kegagalan (*Fault Tree Analysis*)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah metode kualitatif untuk analisis kegagalan. Metode ini memecah kondisi sistem tertentu menggunakan logika Boolean yang dikombinasikan dengan berbagai kondisi lainnya. Masalah utama, yang dikenal sebagai kejadian utama (*top event*), dianalisis di bagian atas pohon sebagai kondisi utama, didukung oleh kondisi lain yang mempengaruhinya. Kondisi-kondisi ini dinyatakan dalam bentuk logika dan diatur seperti pohon, membentuk kesatuan sistem. FTA sering digunakan dalam teknik keselamatan dan teknik keandalan untuk memahami bagaimana sistem dapat mengalami kegagalan. Metode ini juga membantu mengidentifikasi cara terbaik untuk menentukan kejadian-kejadian yang dapat menyebabkan kecelakaan atau kegagalan sistem. Dengan menganalisis kombinasi kejadian yang dapat menyebabkan kegagalan sistem, FTA membantu insinyur merencanakan tindakan pencegahan yang efektif dan merancang sistem yang lebih andal dan aman [11].

Dalam menetapkan *Safety Integrity Level* (SIL) menggunakan metode kuantitatif, dilakukan analisis terhadap frekuensi kegagalan setiap komponen atau instrumen berdasarkan 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 komponen atau instrumen dalam sistem[12].

Secara keseluruhan, metode kuantitatif ini fokus pada analisis data pemeliharaan untuk mengenali dan memahami risiko potensial yang terkait dengan kegagalan komponen atau instrumen. Hal ini memungkinkan para ahli untuk mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan guna meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem secara keseluruhan.

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:

$$\lambda = 1 / \text{MTTF} \quad (1)$$

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. *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 3 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.

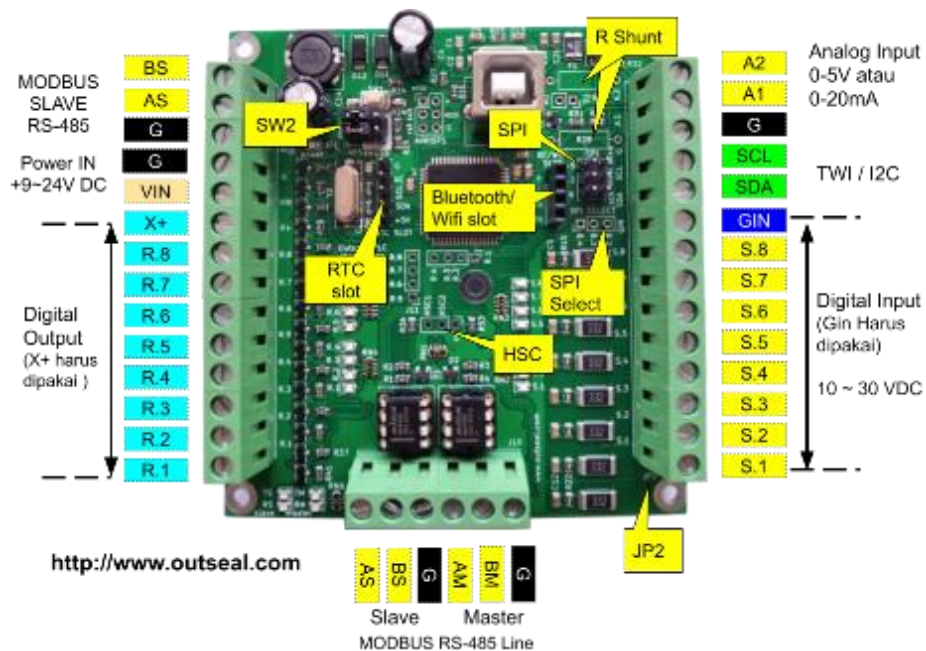
Tabel 3. Moon Architecture Formula

Architecture	PFDavg TI = 1 Year	PFDavg TI = 3 Year	PFDavg TI = 5 Year	PFDavg TI = 10 Year
1001	$\lambda_{DU}/2$	$3 \times \lambda_{DU}/2$	$5 \times \lambda_{DU}/2$	$10 \times \lambda_{DU}/2$
1002	$\lambda_{DU}^2/2$	$9 \times \lambda_{DU}^2/2$	$25 \times \lambda_{DU}^2/3$	$100 \times \lambda_{DU}^2/3$
1002D	$\lambda_{DU}^2/3$	$9 \times \lambda_{DU}^2/2$	$25 \times \lambda_{DU}^2/2$	$100 \times \lambda_{DU}^2/3$
1003	$\lambda_{DU}^2/4$	$27 \times \lambda_{DU}^2/2$	$125 \times \lambda_{DU}^2/2$	$1000 \times \lambda_{DU}^2/4$
2002	λ_{DU}	$3 \times \lambda_{DU}$	$5 \times \lambda_{DU}$	$10 \times \lambda_{DU}$
2002D	λ_{DU}	$3 \times \lambda_{DU}$	$5 \times \lambda_{DU}$	$10 \times \lambda_{DU}$
2003	λ_{DU}^2	$9 \times \lambda_{DU}^2$	$25 \times \lambda_{DU}^2$	$100 \times \lambda_{DU}^2$
2004	λ_{DU}^2	$27 \times \lambda_{DU}^2$	$125 \times \lambda_{DU}^2$	$1000 \times \lambda_{DU}^2$

A. Alat dan Bahan

1. PLC Outseal Mega V2 Slim

PLC, atau *Programmable Logic Controller*, adalah rangkaian elektronik yang mampu menangani berbagai fungsi kontrol dalam tingkat kompleksitas yang berbedabeda. Salah satu keunggulannya adalah kemampuannya untuk diprogram, dikontrol, dan dioperasikan oleh pengguna yang mungkin tidak memiliki pengalaman dalam operasi komputer. Representasi PLC sering kali digambarkan dalam diagram tangga yang menggunakan garis dan simbol untuk mengilustrasikan hubungan-hubungan yang diperlukan dalam suatu proses [5]. PLC yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis PLC Outseal Mega V2 Slim seperti Gambar 1.



Gambar 1. PLC Outseal Mega V2 Slim

2. Sensor Propana (MQ-2)

Sensor MQ-2 adalah jenis sensor gas yang sering digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi beberapa jenis gas seperti gas LPG, metana, karbon monoksida (CO), dan asap dalam udara. Prinsip kerja dari sensor MQ-2 seperti Gambar 2 didasarkan pada perubahan resistansi, di mana sensor ini menggunakan perubahan resistansi sebagai respons terhadap keberadaan gas tertentu. Sensor ini memiliki lapisan yang mengandung oksida logam yang sensitif terhadap jenis gas yang spesifik. Ketika gas tersebut berinteraksi dengan lapisan oksida logam, maka resistansi pada sensor akan berubah.



Gambar 2. Sensor Propana MQ-2

3. Sensor Api

Flame detector adalah sensor yang dirancang untuk mendeteksi dan merespons keberadaan nyala api atau api. Respon terhadap nyala yang terdeteksi bergantung pada instalasinya, tetapi dapat mencakup penyaluran *alarm*, menonaktifkan saluran bahan bakar (seperti saluran propana atau gas alam), dan mengaktifkan sistem penekanan kebakaran. Sensor api Honeywell model 700/800, seperti Gambar 3 mendeteksi radiasi UV atau IR dari api menggunakan viewing head. Sinyal ini dianalisis oleh *signal processor* untuk mengonfirmasi adanya api. Hasilnya adalah sinyal output yang menunjukkan status deteksi api, memastikan deteksi yang cepat dan anda



Gambar 3. Sensor Api Honeywell Model 700/800

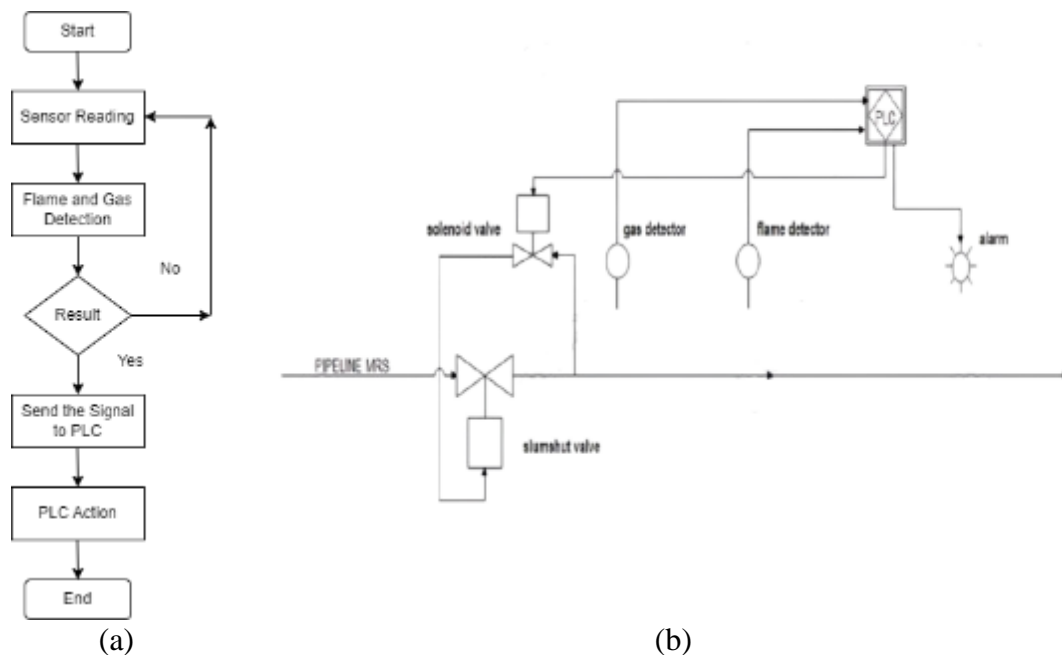
4. Solenoid Valve

Solenoid valve, seperti Gambar 4 merupakan jenis katup yang beroperasi dalam dua kondisi, yaitu *full-open* dan *full-close*. Solenoid valve ini membutuhkan energi listrik untuk menggerakkan pistonnya melalui penggunaan kumparan. Keunggulan dari *solenoid valve* ini meliputi waktu *switching* yang cepat, masa perawatan yang panjang, serta konsumsi daya yang rendah. Prinsip kerja dari *solenoid valve* adalah ketika kumparan di dalamnya diberikan tegangan input, kumparan akan menginduksi gerakan pada piston.



Gambar 4. Solenoid Valve

B. Rancangan Prototype



Gambar 5. (a) Rancangan Software SIS MRS Penelitian, (b) Rancangan Hardware SIS MRS Penelitian

Gambar 5a menjelaskan mengenai urutan langkah-langkah dalam sistem untuk menentukan apakah sensor flame dan gas detector mendeteksi keberadaan api atau kebocoran gas. Jika ada deteksi, sistem akan mengirim sinyal ke PLC untuk menjalankan aksi tertentu, seperti menutup final control element dan mengaktifkan alarm. Sedangkan gambar 5b 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 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.

3. 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.

Selain itu, analisis menggunakan Fault Tree Analysis (FTA) membantu dalam mengidentifikasi potensi kegagalan dalam sistem dan memberikan solusi untuk meningkatkan keandalan. Hal ini mendukung teori bahwa FTA adalah alat yang efektif untuk mengevaluasi dan meningkatkan desain sistem keselamatan. Meskipun hasil penelitian ini sangat menjanjikan, terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan. Investasi awal yang tinggi untuk instalasi sistem dan kebutuhan akan pemeliharaan rutin adalah beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam implementasi sistem ini. Selain itu, pelatihan yang memadai bagi operator dan teknisi sangat penting untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan yang diharapkan.

A. 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 4 dibawah ini.

Tabel 4. Nilai MTTF Komponen

No	Instrumen	MTTF (Year)
1	Logic Solver	49,75
2	Solenoid Valve	31,61735
3	Pompa	8,6743
4	Sensor Gas	37,037
5	Sensor Api	98.039,21

- Perhitungan PFDavg pada *logic solver* 1001
 $\lambda = \frac{1}{MTTF} = 2,01 \times 10^{-2}$
 $PFD_{average1001} = 5 \times 10^{-3}$
- Perhitungan PFDavg pada *solenoid valve* 1001
 $\lambda = \frac{1}{MTTF} = 3,1 \times 10^{-2}$
 $PFD_{average1001} = 7,7 \times 10^{-2}$
- Perhitungan PFDavg pada *pompa* 1001
 $\lambda = \frac{1}{MTTF} = 1,16 \times 10^{-1}$
 $PFD_{average1001} = 2,9 \times 10^{-2}$
- Perhitungan PFDavg pada *gas detector* 1001
 $\lambda = \frac{1}{MTTF} = 2,7 \times 10^{-2}$
 $PFD_{average1001} = 8,1 \times 10^{-2}$
- Perhitungan PFDavg pada *flame detector*
 $\lambda = \frac{1}{MTTF} = 1,02 \times 10^{-5}$
 $PFD_{average1001} = 1,51 \times 10^{-5}$

B. Perhitungan Nilai SIL

Tabel 5. Hasil Failure Rate dan PFDavg komponen

No	Tag	Failure Rate	PFDavg	SIL
1	Logic Solver	$2,01 \times 10^{-2}$	5×10^{-3}	3
2	Solenoid Valve	$3,1 \times 10^{-2}$	$7,7 \times 10^{-2}$	2
3	Pompa	$1,16 \times 10^{-1}$	$2,9 \times 10^{-2}$	1
4	Sensor Gas	$2,7 \times 10^{-2}$	$8,1 \times 10^{-2}$	2
5	Sensor Api	$1,02 \times 10^{-5}$	$1,51 \times 10^{-5}$	3

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

$$\begin{aligned} PFD_{SIS} &= \sum PFD_{Sensor} + \sum PFD_{Logic\ Solver} + \sum PFD_{Final\ Element} \\ PFD_{SIS} &= (8,1 \times 10^{-2} + 1,51 \times 10^{-5}) + (5 \times 10^{-3}) + (7,7 \times 10^{-2} + 2,9 \times 10^{-2}) \\ PFD_{SIS} &= 19,2 \times 10^{-1} = 0,192 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, nilai PFD Sistem adalah 0,192. Hal ini menandakan bahwa sistem berada pada SIL 1.

4. SIMPULAN

Safety Instrumented System (SIS) bekerja dengan dasar penentuan level Safety Integrity Level (SIL) dari sebuah sistem. Secara keseluruhan, PFD sistem metering regulating station MRS memiliki nilai 0,192 dan berada pada level SIL 1. Hal ini berarti sistem berada pada keadaan dimana konsekuensi kegagalan bersifat sedang dan tidak katastrofik. 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.

5. 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 Nuclear Power Plant, *Nuclear Engineering and Design* 301 (2016) 1–14
- [4] Romadhon, M. F. (2023). Rancang Bangun safety instrumented system Berbasis Programmable 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 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