



Jurnal Terapan Logistik Migas : Jurnal Program Studi Logistik Minyak dan Gas No. ISSN : DOI :

Retrofit *Safety Instrumented System* Pada Kompresor 12-K-501B Di PT. X

Mochamad Rizky Pradana^{1*}, Astrie Kusuma Dewi², Ismail Kresna Yuda³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral AKAMIGAS
Jl. Gaja Mada No. 38 Mentul Karangboyo Cepu Blora Jawa Tengah, 58315

^{1,*}Email : mochamad.pradana@esdm.go.id (Penulis Korespondensi)

Received: ²⁶th October 2022; Revised: ²¹th November 2023; Accepted: ⁷th December 2023

Abstrak

H₂ compressor 12-K-501B merupakan salah satu kompresor yang dimiliki PT.X yang berfungsi untuk mengkompresikan *make-up* H₂ di unit *Atmospheric Residue Hydrometalization* (ARHDM). *Safety Instrumented System* (SIS) dipasang pada kompresor untuk melindungi alat dari *hazard* yang dapat terjadi. Nilai PFD pada SIS yang terpasang pada kompresor 12-K-501B berbeda dengan nilai *requirement* dari studi HAZOP. Penambahan komponen (*retrofit*) pada SIS kompresor 12-K-501B dilakukan agar ada kesesuaian antara nilai PFD *real* dan nilai PFD dari HAZOP *study*. *Retrofit* dimulai dari memilih arsitektur rekomendasi, perancangan *cause and effect*, pemilihan komponen *input* dan *output*, penentuan spesifikasi *hardware* dan perancangan *system software*. Biaya yang dapat dihemat dari penerapan *retrofit* ini dimulai dari kenaikan nilai *reliability* SIS 12-K-501B dari semula 49,8% menjadi 72%.

Kata kunci: Kompresor, *retrofit*, Safety Integrity Level (SIL), Keandalan, *Safety Instrumented System* (SIS)

Abstract

H₂ compressor 12-K-501B is one of the compressors owned by PT.X which functions to compress H₂ *make-up* in the *Atmospheric Residue Hydrometalization* (ARHDM) unit. The *Safety Instrumented System* (SIS) is installed on the compressor to protect the tool from any hazards that may occur. The PFD value on the SIS installed on the 12-K-501B compressor does not match the requirement values from the HAZOP study. *Retrofit* on the SIS compressor 12-K-501B is carried out so there is a match between the real PFD value and PFD value from the HAZOP study. *Retrofit* starts from determining the recommendation architecture, designing *cause and effect*, listing input and output components, determining hardware specifications and designing system software. The potential for cost savings from implementing these *retrofit* is to increase the *reliability* value of SIS 12-K-501B from 49,8% to 72%.

Keywords: Compressor, *retrofit*, Safety Integrity Level (SIL), Reliability, *Safety Instrumented System* (SIS)

I. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas (migas) tidak terlepas dari adanya kemungkinan kecelakaan kerja, baik yang berpengaruh pada manusia maupun alat[1]. Oleh karena itu, *Safety Instrumented System* (SIS) dipasang disetiap industri migas untuk mencegah kejadian berbahaya seperti kebocoran gas, tekanan yang terlalu tinggi, dan kejadian-kejadian lainnya yang tidak diinginkan[2].

SIS merupakan bagian dari *Integrated Control and Safety System* (ICSS) yang berfungsi untuk mendeteksi dan mencegah bahaya yang terjadi jika proses diluar kontrol[3]. SIS akan bekerja jika *Basic Control Process System* (BPCS) tidak bisa menangani parameter yang jauh melebihi *setpoint*. SIS bekerja dengan cara menghentikan proses produksi melalui pembukaan dan penutupan katup (*switching valves*) atau alat-alat yang berputar lainnya (*rotary equipment*)[4].

Kebutuhan SIS dalam suatu proses industri dapat diketahui dengan melakukan pengukuran *Safety Integrity Level* (SIL)[5][6]. Tahapan pada SIL menunjukkan seberapa kritikal suatu tingkat bahaya dan tingkat penanganan yang harus diaplikasikan pada SIS. Tahapan pada SIL berhubungan dengan kemungkinan terjadinya suatu bahaya pada *plant* atau *Probability Failure on Demand* (PFD)[7]. Semakin tinggi tingkatan dari SIL, maka nilai dari PFD haruslah serendah mungkin[8]. Tingkatan SIL juga dipengaruhi oleh frekuensi pengecekan alat. Semakin sempit interval pengecekan alat, maka tingkatan SIL pun akan berada pada level yang tinggi[9].

Pada penelitian ini, kompresor 12-K-501B yang terdapat di unit *Atmospheric Residue Hydrodemetalization* (ARHDM) mendapat perhatian khusus. Hal ini dikarenakan sering terjadinya hazard/bahaya pada kompresor ini. Contohnya adalah sering terjadinya kebocoran pada *discharge valve* pada kompresor. Hal ini dapat menyebabkan kecelakaan kerja dan

dampak yang fatal bagi lingkungan. Oleh karena itu, SIS menjadi sebuah kewajiban untuk dipasang pada unit kompresor ini.

Pada kompresor 12-K-501B, arsitektur SIS dimasukkan kedalam tingkatan SIL-0 berdasarkan nilai PFD yang dihitung sebelumnya. Pengecekan ulang diperlukan agar terjadi kesesuaian antar tingkatan SIL existing dengan nilai *requirement* dari HAZOP study. Oleh karena itu, penulis mengambil topik penelitian berupa *retrofit safety instrumented system* pada kompresor 12-K-501B dengan metode *fault tree analysis* (FTA) di PT.X.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Perhitungan SIL *requirement* dilakukan sebelum melakukan kegiatan *retrofit* pada SIS. Hal ini diperlukan agar terjadi kesesuaian antara *probability failure on demand* (PFD) dari kompresor 12-K-501B dengan potensi bahaya (hazard ranking) pada kompresor 12-K-501B. Sehingga, bahaya yang dapat ditimbulkan dari kompresor 12-K-501B dapat ditekan hingga batas aman dari tingkatan SIL yang diperbolehkan. Untuk memperoleh nilai SIL *requirement* pada kompresor 12-K-501B diperlukan *Hazard and Operability* (HAZOP) study.

Setelah mendapat nilai SIL *requirement*, dilanjutkan dengan menghitung nilai SIL existing pada kompresor 12-K-501B. Hal ini dilakukan untuk melakukan perbandingan antara dua nilai tersebut, sehingga dapat dilakukan studi kecocokan antara kebutuhan dari tingkatan SIL dengan nilai SIL existing yang ada di lapangan. Metode kualitatif Fault Tree Analysis (FTA) digunakan untuk menghitung nilai SIL existing pada SIS 12-K-501B. Perhitungan ini menggunakan nilai Mean Time Between Failure (MTTF) yang didapat dari data maintenance dari kompresor 12-K-501B. Setelah itu, dapat dilakukan perhitungan *failure rate* dan PFD. Nilai PFD yang didapatkan menjadi dasar untuk membandingkan antara SIL *requirement* dengan SIL yang ada di lapangan. Setelah itu, barulah *retrofit* dapat dilakukan untuk menyamakan nilai SIL *requirement* dengan SIL existing.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Overview Proses Kompresor 12-K-501B

Kompresor 12-K-501B merupakan *three-stage reciprocating compressor* yang digunakan untuk mengkompresikan gas hidrogen pada unit *Atmospheric Hydrodemetalization* (ARHDM). Berikut adalah sistem kerja kompresor 12-K-501B:

1. First Stage

Feed yang masuk pada kompresor 12-K-501B berasal dari *first stage suction drum* 12-V-510 yang memiliki tekanan sebesar 21.23 kg/cm²g. *Pressure indicator* 12-PI-656, *temperature indicator* 12-TI-654, dan *flow indicator* 12-FI-659 digunakan untuk mengawasi nilai tekanan, suhu dan laju aliran dari *feed*. *Feed* masuk melalui *first stage suction dampener* 12-K-501B. *Dampener* dilengkapi dengan *loader* 12-

HC-805 yang berfungsi sebagai pengatur beban kompresor. Setelah itu, *feed* masuk ke *discharge dampener* 12-K-501B dengan pengawasan parameter suhu oleh *temperature indicator* 12-TI-657. Selanjutnya, *feed* dicampur dengan gas hidrogen yang berasal dari *membrane separation unit* 12-A-501. Pembacaan dan kontrol laju aliran dan tekanan dari campuran *feed* dan gas dilakukan oleh *flow indicator* 12-FI-650 dan *pressure indicator controller* 12-PIC-651. Lalu gas campuran masuk kedalam *compressor first stage intercooler* 12-E-522B untuk didinginkan. *Temperature indicator* 12-TI-660 digunakan untuk mengukur suhu keluaran *heat exchanger*.

2. Second Stage

Second stage Knock Out Drum 12-V-511B digunakan untuk menyimpan gas yang keluar dari *heat exchanger* 12-E-522B. Drum dilengkapi dengan *pressure indicator controller* 12-PIC-651A untuk mengontrol tekanan dari gas hidrogen. Lalu, *pressure indicator controller* 12-PIC-651B digunakan untuk mengontrol tekanan dari *spill back vessel* ke 12-V-510. Gas yang keluar dari *vessel* 12-V-511B masuk ke *second stage suction dampener* 12-K-501B. *Dampener* dilengkapi dengan *loader* 12-HC-805 yang berfungsi sebagai pengatur beban kompresor. *Temperature indicator* 12-TI-669 digunakan untuk memonitor suhu gas yang keluar dari *second stage discharge*. Setelah itu gas masuk ke *second stage discharge dampener* dan didinginkan pada penukar panas *compressor second stage intercooler* 12-E-523B. *Temperature indicator* 12-TI-668 digunakan untuk mengukur suhu keluaran *heat exchanger*.

3. Third Stage

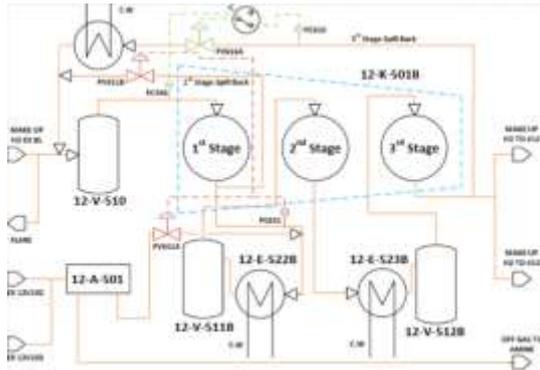
Gas dari *Exchanger* 12-E-523B masuk ke *third stage knock out drum* 12-V-512B. Pada drum, dipasang juga *pressure indicator* 12-PI-621 yang berfungsi untuk melakukan pembacaan tekanan pada drum. Gas yang keluar dari drum 12-V-512B masuk ke *third stage suction dampener* 12-K-501B. *Dampener* dilengkapi dengan *loader* 12-HC-807. *Pressure indicator* 12-PI-673 dan *flow indicator* 12-FI-676 digunakan untuk mengukur tekanan dan laju aliran dari gas. Selanjutnya gas hidrogen dikirim ke reaktor dengan tekanan 188 kg/cm²g.

B. Sistem Instrumentasi Kompresor K-12-501B

Pemisahan antara BPCS dan SIS diperlukan Sebelum melakukan perhitungan SIL. Hal dikarenakan untuk menghitung SIL, hanya diperlukan komponen dari SIS. Berikut adalah pembahasan mengenai BPCS dan SIS pada kompresor 12-K-501B

1. Basic Process Control System (BPCS) Kompresor K-12-501B

Skematik dari BPCS kompresor 12-K-501B dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Sistem Instrumentasi BPCS 12-K-501B

Pressure controller 12-PC-596 digunakan untuk mengatur tekanan gas pada vessel 12-V-510. Sinyal keluaran dari pressure controller 12-PC-596 akan menjadi input dari pressure controller 12-PC-616 3rd stage spill back. Pressure controller ini digunakan untuk mengontrol tekanan pada suction 1st stage 12-K-501B. Untuk mencegah spillback pada vessel 12-V-510, digunakan pressure controller 12-PC-651.

2. Safety Instrumented System (SIS) Kompresor K-12-501B

SIS dari 12-K-501 terdiri dari dua komponen, yaitu komponen yang berfungsi untuk memberikan peringatan jika terjadi bahaya pada kompresor K-120-501B (alarm system) dan komponen yang berfungsi untuk mematikan kompresor K-120-501B (tripping system)

1 Alarm System Kompresor K-12-501B

Alarm system digunakan untuk memberikan peringatan kepada operator jika parameter pada kompresor telah melebihi high setpoint dan low setpoint yang telah ditentukan sebelumnya. Peringatan alarm akan masuk ke DCS berupa annunciator. Alarm system menggunakan gerbang logika NAND, dimana jika input bernilai “1” maka kondisi kompresor berada dalam keadaan normal dan annunciator akan memberikan output nilai “0” atau annunciator off. Sebaliknya, alarm system akan memiliki input bernilai “0” maka kondisi kompresor berada dalam keadaan diatas setpoint dan annunciator akan memberikan output nilai “1” atau annunciator on.

2 Tripping System Kompresor K-12-501B

Penghentian kerja dari kompresor 12-K-501B dilakukan oleh Tripping System dari SIS. Sistem ini berfungsi untuk menghentikan kompresor ketika parameter dari compressor berada diluar setpoint dan operator tidak dapat menangani hal tersebut. Sinyal 125VDC digunakan untuk memberikan perintah kepada M.C.C main motor. Tripping system

menggunakan gerbang logika AND sebagai basis. Jika kompresor berada dalam kondisi normal, maka input dari tripping system akan bernilai “1” dan output juga kan bernilai “1”. Hal ini berarti sinyal 125VDC akan dikirimkan pada M.C.C main motor dan main motor akan berada pada kondisi energized. Sebaliknya, jika kompresor berada dalam kondisi bahaya, maka input dari tripping system akan bernilai “0” dan output juga kan bernilai “0”. Hal ini berarti sinyal 125VDC akan dikirimkan pada M.C.C main motor dan main motor akan berada pada kondisi shutdown.

C. SIL Requirement Kompresor 12-K-501B

Untuk menghitung nilai SIL requirement, diperlukan nilai PFD pada kompresor 12-K-501B. Metode yang digunakan untuk menghitung PFD SIL requirement adalah HAZOP study. Nilai PFD untuk SIL requirement dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PFD_{system} = \frac{RTC_{total}}{IEC_{total}} \tag{1}$$

Berdasarkan rumus tersebut, didapat nilai operasi pada kompresor 12-K-501B. Nilai dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel I
Nilai PFD pada Kompresor 12-K-501B

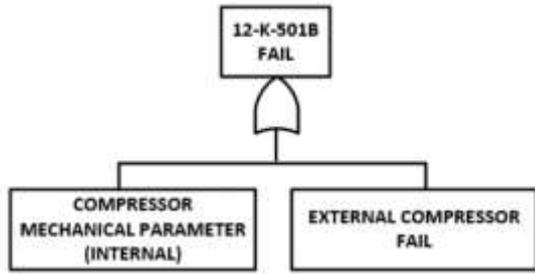
Final PFD Node 11							
Safety	Health	Production Loss	Envi	Reputation/ Media	Legal	Security	Financial
2.1E-03	0,03154	0,302107351	0,01874	0,0218579	-	-	6,401397

Nilai PFD diambil berdasarkan nilai paling rendah yaitu 2.1x10⁻³. Berdasarkan nilai PFD tersebut, maka kompresor 12-K-501B harus dikategorikan pada SIL-2.

D. Analisis Nilai SIL Existing Menggunakan Fault Tree Analysis

Metode Fault Tree Analysis digunakan untuke mengetahui nilai SIL existing. Metode ini menghitung nilai MTTF untuk mendapatkan nilai failure rate. Berdasarkan nilai failure rate maka dapat hitung nilai PFD pada kompresor 12-K-501B. Nilai PFD dapat dilihat pada tabel 2.

FTA menggunakan metode diagram untuk memudahkan perhitungan PFD. Diagram FTA dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram FTA Kompresor 12-K-501B

Perhitungan nilai PFD pada node 12-K-501B dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PFD_{total} = (PFD_{mechanical} \cup PFD_{external})$$

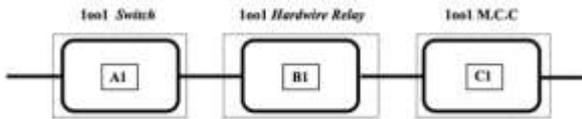
$$PFD_{total} = (0,4 + 0,64)$$

$$PFD_{total} = 1,04$$

Nilai PFD untuk SIL *existing* pada kompresor 12-K-501B adalah 1,04. Sehingga di lapangan, kompresor 12-K-501B baru dikategorikan sebagai SIL-0.

E. Analisa Nilai Reliability Existing One Loop SIS Kompresor 12-K-501B

Reliability pada sebuah komponen menandakan seberapa andal sebuah alat dapat bekerja pada sebuah rentang waktu. Untuk mengetahui seberapa andal sebuah alat, dapat digunakan Analisa nilai *reliability existing*. Analisa ini menggunakan *Reliability Block Diagram* (RBD) sebagai model. RBD pada kompresor 12-K-501B dapat dilihat pada gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Reliability Block Diagram Kompresor 12-K-501B

Nilai keandalan sistem dapat dihitung menggunakan rumus hubungan seri sebagai berikut:

- *Reliability 1oo1 Switch* (R_{SA})
 $R_{SA} = R_{A1} = 0,84$
- *Reliability 1oo1 Hardware Relay* (R_{SB})
 $R_{SB} = R_{B1} = 0,77$
- *Reliability 1oo1 M.C.C* (R_{SC})
 $R_{SC} = R_{C1} = 0,77$
- *Reliability Existing System* (R_S)
 $R_S = \prod_{i=1}^n R_i$
 $R_S = (R_1)(R_2)(R_3)$
 $R_S = (R_{SA})(R_{SB})(R_{SC})$
 $R_S = (0,84)(0,77)(0,77)$
 $R_S = 0,498$

Nilai *reliability existing* pada SIS Kompresor 12-K-501 sebesar 0,498 atau 49,8%

F. Retrofit SIS 12-K-501B

Retrofit diperlukan pada kompresor 12-K-501B untuk menyesuaikan nilai SIL di lapangan dengan kebutuhan SIL

yang berasal dari HAZOP study. Untuk melakukan *retrofit*, dilakuakn tahapan kegiatan sebagai berikut:

1 Menentukan Konfigurasi Arsitektur Rekomendasi SIS 12-K-501B

Pertama-tama, ditentukan terlebih dahulu konfigurasi arsitektur rekomendasi SIS pada kompresor 12-K-501B yang memenuhi persyaratan SIL-2. Untuk menentukan arsitektur rekomendasi, dapat menggunakan metode FTA. Opsi konfigurasi arsitektur dapat dilihat di tabel 2 sebagai berikut:

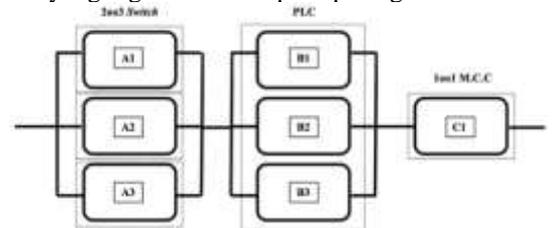
Tabel II. Perbandingan Nilai PFD SIS 12-K-501B

Device	MTTF	Failure Rate/year	T/yr	Konfigurasi		
				PFD 1oo1	PFD 2oo2	PFD 2oo3
Input Switch						
LSHH 654	10	0,1	0,16	0,008	0,016	0,000256
LSHH 678	10	0,1	0,16	0,008	0,016	0,000256
LSHH 622	10	0,1	0,16	0,008	0,016	0,000256
PSLL 718	10	0,1	0,16	0,008	0,016	0,000256
VSHH 602	10	0,1	0,16	0,008	0,016	0,000256
VSHH 605	10	0,1	0,16	0,008	0,016	0,000256
ZSHH 605	10	0,1	0,16	0,008	0,016	0,000256
HS 702 A/B	-	-	-	-	-	-
Logic Solver						
PLC SIL 2 Certified				0,001		
Final Element						
M.C.C 1oo1	20	0,05	0,16	0,004		
PFD Total				0,061	0,117	0,006792
SIL				SIL 1	SIL 0	SIL 2

Berdasarkan nilai pada tabel 2, konfigurasi yang memenuhi kebutuhan SIL-2 dari 12-K-501B adalah Input Switch dengan menggunakan voter 2oo3, Controller PLC SIL 2 certified dan aktuatur berupa final element M.C.C 1oo1. Konfigurasi ini harus dilakukan proof test interval, minimal 2 bulan sekali dalam rentang waktu 1 tahun.

2 Perhitungan *Reliability* Arsitektur Rekomendasi SIS 12-K-501B

Berdasarkan konfigurasi rekomendasi, perlu dibangun model RBD yang sesuai dengan arsitektur SIS yang baru. Berikut adalah model RBD yang baru seperti yang digambarkan seperti pada gambar 4:



Gambar 4. Model RBD Baru Kompresor 12-K-501B

Selanjutnya nilai *reliability system* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

- *Reliability 2oo3 Switch* (R_{SA})
 $R_{SA} = R_A^3 + 3R_A^2(1 - R_A)$
 $R_{SA} = 0,98^3 + 3 \cdot 0,98^2(1 - 0,98)$

- $R_{SA} = 0,99$
- *Reliability 2003 Hardware Relay* (R_{SB})
 $R_{SB} = R_B^3 + 3R_B^2(1 - R_B)$
 $R_{SB} = 0,84^3 + 3 \cdot 0,84^2(1 - 0,84)$
 $R_{SB} = 0,93$
- *Reliability 1001 M.C.C* (R_{SC})
 $R_{SC} = R_{C1} = 0,77$
- *Reliability Existing System* (R_S)
 $R_S = \prod_{i=1}^n R_i$
 $R_S = (R_1)(R_2)(R_3)$
 $R_S = (R_{SA})(R_{SB})(R_{SC})$
 $R_S = (0,99)(0,93)(0,77)$
 $R_S = 0,72$

Nilai *reliability* dari arsitektur rekomendasi SIS yang baru pada kompresor 12-K-501B sebesar 0,72 atau 72%.

3 Perancangan Cause and Effect Table

Setelah menghitung nilai *reliability*, dilalukan perancangan tabel *cause and effect*. Tabel ini diperlukan untuk menggabungkan antara *output* dengan *input* dari SIS

4 Listing Input dan Output SIS 12-K-501B

Selanjutnya adalah pendaftaran (*listing*) komponen input dan output pada SIS 12-K-501B berdasarkan arsitektur rekomendasi yang baru.

5 Menentukan Spesifikasi Peralatan

Penentuan spesifikasi peralatan instrumentasi dilakukan untuk menentukan spesifikasi dari PLC Controller dan Input Switch.

6 PLC I/O Schematic Design

Setelah itu dilakukan konfigurasi koneksi antar komponen di SIS melalui *channel mapping* modul PLC. Selanjutnya skema koneksi input dan output dari dibangun pada PLC dengan membuat *wiring diagram*.

7 Pemograman PLC

Pemograman PLC menggunakan bahasa pemograman ladder logi dengan menggunakan perangkat lunak TriStation 1131.

8 Perancangan Sequence of Event Historian

Kejadian yang terjadi pada PLC dapat direkam dan dibaca pada *Sequence Of Event* (SOE) Historian. Software ini menampilkan kondisi dari kejadian beserta waktu dan tanggal kejadian. Hal ini dilakukan untuk memudahkan analisa alarm dan trip. Perancangan aplikasi *Sequence of Events Historian* dapat menggunakan perangkat lunak *Wonderware InTouch* 10.1.

IV. KESIMPULAN

- Berdasarkan HAZOP *study* yang dilakukan, Kompresor 12-K-501B memiliki SIL *requirement* yaitu SIL-2.
- Nilai SIL pada kompresor 12-K-501B saat ini berdasarkan perhitungan metode Fault Tree Analysis untuk kompresor 12-K-501B adalah SIL-0.
- Rekomendasi perubahan arsitektur SIS untuk menyesuaikan SIL di lapangan dengan kebutuhan SIL,

diantaranya dengan merubah *input switch* dari 1001 menjadi *voter 2003* dan *PLC Controller* dari 1001 menjadi *PLC SIL2 certified*. Sedangkan untuk M.C.C sebagai *final element* tidak mengalami perubahan.

- Dengan menerapkan arsitektur rekomendasi yang baru, Nilai keandalan/*reliability* dari SIS mengalami kenaikan dari 49,8% menjadi 72%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UPPM PEM Akamigas yang telah mendukung, baik secara pendanaan maupun administrasi selama pengerjaan penelitian dan penulisan jurnal.

REFERENSI

- [1] P. S. Gholami, P. Nassiri, R. Yarahmadi, A. Hamidi, and R. Mirkazemi, "Assessment of Health Safety and Environment Management System function in contracting companies of one of the petro-chemistry industries in Iran, a case study," *Saf Sci*, vol. 77, pp. 42–47, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.ssci.2015.03.004.
- [2] Y. Liu and M. Rausand, "Reliability assessment of safety instrumented systems subject to different demand modes," *J Loss Prev Process Ind*, vol. 24, no. 1, pp. 49–56, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.jlp.2010.08.014.
- [3] A. Gabriel, "Design and Evaluation of Safety Instrumented Systems: A Simplified and Enhanced Approach," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 3813–3823, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2679023.
- [4] Moe Toghraei, *Piping and Instrumentation Diagram Development*. John Wiley & Sons, Inc., 2019.
- [5] W. E. Anderson, "Risk analysis methodology applied to industrial machine development," in *Conference, 2004 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical*, IEEE, 2004, pp. 145–153. doi: 10.1109/ICPS.2004.1314993.
- [6] Laihua Fang, Zongzhi Wu, Lijun Wei, and Ji Liu, "Design and development of safety instrumented system," in *2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, IEEE, Sep. 2008, pp. 2685–2690. doi: 10.1109/ICAL.2008.4636627.
- [7] Y. Redutskiy, "Modelling and Design of Safety Instrumented Systems for Upstream Processes of Petroleum Sector," *Procedia Eng*, vol. 182, pp. 611–618, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.165.
- [8] J. Jin, W. Xiong, and P. Xu, "Research on Architectural Constraints Analysis and an Improvement Method for Safety Instrumented Systems," in *2018 12th International Conference on Reliability, Maintainability, and Safety (ICRMS)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 481–484. doi: 10.1109/ICRMS.2018.00095.
- [9] J. Wood, "What is Good Practice for the Proof Testing of Safety Instrumented Systems of Low Safety Integrity?," *ICHEME*, 2014.

- [10] A. Bagus, "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," Institut Teknologi Sepuluh November, 2016.