

ANALISIS SAFETY INTEGRITY LEVEL DENGAN METODE FMEA DAN FTA PADA KOMPRESOR DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI

Winna Andriana¹⁾, Eko Julianto²⁾, Mades Darul Khairansyah³⁾

¹Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo,
Surabaya, 60111

^{2,3}Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia
Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: winna.andriana16@gmail.com

Abstract

Geothermal power plant is one part of the Program 35,000 launched by the government. The compressed air system is one of the vital support systems because all existing pneumatic systems in geothermal power plant are supported by the system. The most important part of the compressed air system is the compressor that will compress air supplied to the entire pneumatic system. Frequent trips on the compressor can reduce engine reliability, harm the company and harm to workers. The purpose of this study was to identify the hazards of using Fault Mode and Effect Analysis (FMEA), calculate the failure rate using Fault Tree Analysis (FTA) and calculate the safety level of the compressor using Safety Integrity Level (SIL). The results of this compressor study have 51 failure modes of 10 components based on FMEA. There are 5 components that cause a compressor trip, among others first stage compressor, second stage compressor, after cooler, intercooler, and oil cooler. SIL of the existing trip compressor has a SIL value of 1 with PFD of 0.015. Increased SIL through SIS compressor re-design is achieved on SIL 3 with PFD 0.000237 by adding one final control element installation in the form of a relief valve.

Keywords: compressor, FMEA, FTA, SIL

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) merupakan salah satu bagian dari Program 35.000 yang dicanangkan oleh pemerintah. *Compressed air system* merupakan salah satu sistem pendukung yang vital karena seluruh sistem *pneumatic* yang ada pada PLTP disokong oleh sistem tersebut. Bagian terpenting pada *compressed air system* adalah kompresor yang nantinya akan mengompresi udara dipasok ke seluruh sistem *pneumatic*. Seringnya trip pada kompresor dapat mengurangi keandalan mesin, merugikan perusahaan dan membahayakan bagi pekerja. Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi bahaya menggunakan *Fault Mode and Effect Analysis* (FMEA), menghitung laju kegagalan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA), dan menghitung tingkat keamanan dari kompresor tersebut menggunakan *Safety Integrity Level* (SIL). Hasil penelitian ini kompresor memiliki 51 mode kegagalan dari 10 komponen berdasarkan FMEA. Terdapat 5 komponen yang menyebabkan kompresor trip antara lain *first stage compressor*, *second stage compressor*, *after cooler*, *intercooler*, dan *oil cooler*. SIL kompresor trip *existing* memiliki nilai SIL 1 dengan PFD sebesar 0.015. Peningkatan SIL melalui desain ulang SIS kompresor tercapai pada SIL 3 dengan PFD 0.000237 dengan menambah instalasi satu *final control element* berupa *relief valve*.

Kata kunci : FMEA, FTA, kompresor, SIL

PENDAHULUAN

Tahun 2014 pemerintah mencanangkan Program 35.000 yaitu proyek untuk membangun pembangkit listrik mencapai 35.000 Megawatt hingga 2019. Program tersebut bertujuan memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Indonesia dari Sabang sampai Merauke (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016). Salah satu usaha

pemerintah dalam mewujudkan program ini adalah dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).

PLTP memiliki beberapa sistem antara lain sistem utama dan sistem pendukung. *Compressed air system* merupakan salah satu sistem pendukung yang penting karena semua *valve* yang ada pada sistem utama maupun sistem pendukung menggunakan sistem *pneumatic* yang disokong oleh sistem ini.

Compressed air system terdiri dari 3 peralatan yaitu kompresor, *air receiver*, dan *air dryer*. Terdapat masalah pada kompresor yaitu unit sering mengalami trip yang dapat mengurangi keandalan mesin, merugikan perusahaan dan membahayakan bagi pekerja.

Pada penelitian ini, semua kegagalan yang dihasilkan oleh komponen kompresor akan dicatat pada tabel FMEA, kemudian efek kompresor trip akan menjadi *top event* dan diolah dengan metode FTA. Seluruh gerbang menuju *top event* akan dihitung yang akan menjadi nilai SIL dari kompresor. Perhitungan SIL diharapkan dapat mengurangi risiko dari seringnya *trip* pada unit tersebut.

METODE PENELITIAN

2.1 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effects Analysis mendata mode kegagalan dari komponen dan efeknya terhadap sistem atau *plant*. Tujuannya untuk mengidentifikasi komponen dan kegagalan sistem dari setiap kegagalan sistem atau *plant*. Tipe analisis ini menghasilkan rekomendasi untuk meningkatkan keandalan peralatan dan meningkatkan keselamatan produksi (*Center for Chemical Process Safety*, 2008). Tabel FMEA dapat dibuat dengan menentukan batas sistem pada gambar referensi dan mengevaluasi secara sistematis urutan proses. Setiap item peralatan dapat diperiksa ulang pada gambar referensi atau daftar peralatan saat mode kegagalan telah dievaluasi. Semua mode kegagalan harus dievaluasi untuk setiap komponen atau sistem yang dibahas dalam FMEA sebelum melanjutkan ke komponen berikutnya.

2.2 Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis dapat dideskripsikan sebagai teknik analisis dimana tahapan pada sebuah sistem yang tidak diinginkan dapat dimunculkan (*United State Nuclear Regulatory Commission*, 2000). FTA sendiri merupakan model grafis dari berbagai kombinasi kegagalan yang dapat menyebabkan keadaan yang tidak diinginkan. Kegagalan dapat berupa kejadian yang berhubungan dengan kegagalan komponen peralatan, *human error* atau hal lain yang dapat membuat hal yang tidak diinginkan terjadi. FTA menggambarkan keterkaitan logis dari penyebab dasar menuju kejadian yang tidak diinginkan yang merupakan *top event* dari *fault tree*. Meskipun merupakan teknik identifikasi bahaya model kualitatif, namun FTA bisa juga dievaluasi secara kuantitatif.

2.3 Safety Integrity Level (SIL)

SIL merupakan tingkat keamanan dari *safeguard* yang telah dipasang (Diwyastra, 2016). Parameter utama dari SIL diukur dengan Probability Failure on Demand (PFD). Semakin tinggi nilai SIL maka semakin ketat juga pengamanannya terhadap instrument tersebut. SIL biasanya dibuat menggunakan teknik analisis risiko seperti *Layer of Protection Analysis* (LOPA) (*Center for Chemical Process Safety*, 2015). Selain itu dapat juga digunakan metode *risk graph* dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Dari ketiga metode tersebut FTA cenderung lebih mudah karena merupakan metode kuantitatif yang menunjukkan sebab akibat (Lee, Kim, Kim, & Moon, 2009).

$$PFD = \frac{\lambda \cdot T}{2}$$

Setelah diperoleh nilai PFD dari suatu komponen maka kemudian mencari tingkat SIL dengan melihat range nilai PFD. Dapat diketahui bahwa nilai PFD dipengaruhi oleh laju kegagalan peralatan dan test interval. Nilai PFD dapat digunakan untuk menentukan SIL dari suatu sistem, dengan menggunakan Tabel 1 dapat diketahui nilai PFD dan nilai SIL nya.

Tabel 1
Safety Integrity Level

<i>Safety integrity level</i>	<i>Safety Integrity Level</i>	
	<i>High demand rate (Dangerous failures/hr)</i>	<i>Low demand rate (probability of failure on demand)</i>
4	$\geq 10^{-9}$ to $< 10^{-8}$	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$

Sumber : Smith & Simpson, Tahun 2004

Pada penelitian ini, penentuan tingkatan SIL pada unit kompresor menggunakan standar IEC 62061 *Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*. Dalam standar tersebut terdapat persyaratan untuk desain dan penerapan sistem kontrol yang berhubungan dengan keselamatan mesin ditinjau dari jenis mesin yang digunakan. Penggunaan standar ini disesuaikan dengan tipe mesin dan lingkup penggunaannya untuk memenuhi aspek keselamatan terutama untuk keselamatan pekerja.

2.4 Safety Instrumented System

Basic Process Control System (BPCS). Sistem proteksi biasa disebut dengan *Safety Instrumented System* (SIS), SIS terdiri dari beberapa instrument yang bekerja adalah satu sistem yang disebut *Safety Instrumented Function* (SIF). Setiap SIF mempunyai arsitektur yang berbeda, terdapat enam macam arsitektur (ISA, 2002) yaitu 1001, 1002, 1003, 2002, 2003, dan 2004. Apabila nilai SIL belum mencukupi maka bisa dilakukan peningkatan. Peningkatan nilai dari SIL dapat dilakukan dengan melakukan perubahan konfigurasi dari instrumen yang ingin dinaikan nilai PFD. Perubahan konfigurasi menggunakan metode perubahan konfigurasi Moon.

1. HASIL PENELITIAN

Terdapat 5 komponen pada *worksheet* FMEA ini yang menyebabkan kompresor trip antara lain *first stage compressor, second stage compressor, after cooler, intercooler, dan oil cooler*. Tabel 2 merupakan ringkasan FMEA kompresor.

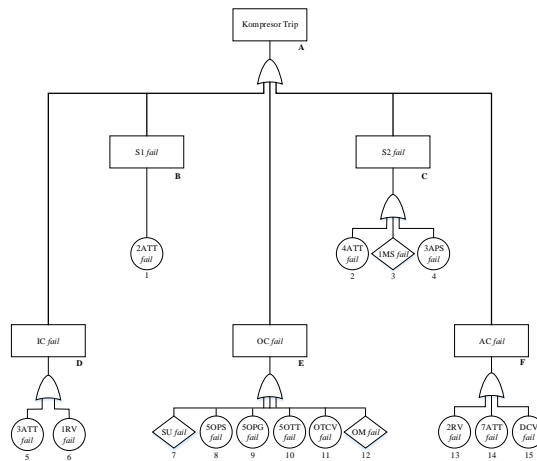
Tabel 1 Ringkasan FMEA Kompresor

<i>Identification</i>	<i>Failure mode</i>	<i>Effects</i>	<i>Safeguard</i>
1 st stage compressor(S1)	Temperatur <i>discharge</i> meningkat melebihi 250° C	Kompresor trip	2ATT (<i>air temperature transducer</i>)
	Pengendali <i>intellisys</i> menerima nilai yang berlebihan dari sensor (>250° C)	Kompresor trip	2ATT (<i>air temperature transducer</i>)
	Suhu saat tekanan mencapai 7.0 bar melebihi 220° C	Kompresor trip	4ATT (<i>air temperature transducer</i>)
2 nd stage compressor(S2)	Suhu saat tekanan mencapai 8.5 bar melebihi 249° C	Kompresor trip	4ATT (<i>air temperature transducer</i>)
	Suhu saat tekanan mencapai 7.0 bar melebihi 254° C	Kompresor trip	4ATT (<i>air temperature transducer</i>)
	Tekanan melebihi 1 bar dari tekanan yang telah ditentukan	Aliran listrik terputus, kompresor trip	3APS (<i>2nd stage discharge pressure switch</i>)
Intercooler(IC)	Temperatur <i>inlet</i> 2 nd stage compressor meningkat melebihi 60° C	Kompresor trip	3ATT (<i>air temperature transducer</i>)
	Pengendali <i>intellisys</i> menerima nilai yang berlebihan dari sensor (>60° C)	Kompresor trip	3ATT (<i>air temperature transducer</i>)
	Tekanan mencapai lebih dari 10 bar	Tekanan pada kompresor terlalu tinggi	1RV (<i>interstage safety relief valve</i>)
After cooler(AC)	Pengendali <i>intellisys</i> menerima nilai yang berlebihan dari sensor (>60° C)	Kompresor trip	7ATT (<i>air temperature transducer</i>)
	Tekanan mencapai lebih dari 10 bar	Tekanan pada kompresor terlalu tinggi	2RV (<i>discharge safety relief valve</i>)
	Aliran fluida kembali ke kompresor	Over oxygen pada kompresor	DCV (<i>discharge check valve</i>)

	Bearing oil dibawah 2,3 barg	Kompresor trip	5OPS (oil pressure transducer)
Oil Cooler(OC)	Bearing oil dibawah 2,3 barg	Kompresor trip	5OPG (oil pressure gauge)
	Temperaturoili>120° C	Kompresor trip	OTCV (oil temperature check valve)
	Temperatur bearing oil melebihi 77° C	Kompresor trip	5OTT (oil temperature transducer)
	Siklus pendistribusian oli tidak terkontrol.	Over reheating	OM (oil manifold)

Sumber : Data olahan penulis, 2018

Efek kompresor trip dijadikan sebagai *top event*, komponen yang menyebabkan trip dijadikan sebagai *intermediate event* untuk selanjutnya dicari penyebab dasarnya. Pada FTA tersebut hanya terdapat simbol “ORgate” yang dapat menyebabkan *intermediate event* terjadi hingga mencapai *top event*.



Gambar 1. FTA kompresor

Sumber : Penulis, 2018

Dari bagan FTA yang telah dibuat, maka dicari *minimal cut set* untuk mengetahui akar permasalahan dari penyebab kompresor trip. Perhitungan *minimal cut set* dapat diperoleh dengan perhitungan di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 A &= B + C + D + E + F \\
 &= 1 + (2 + 3 + 4) + (5 + 6) + (7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12) + \\
 &\quad (13 + 14 + 15) \\
 &= 1 + 2 + 4 + 5 + 6 + 8 + 9 + 10 + 11 + 13 + 14 + 15
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{kompresor trip}} &= 1 + 2 + 4 + 5 + 6 + 8 + 9 + 10 + 11 + 13 + 14 + 15 \\
 &= 0.0001002 + 0.0000823 + 0.0000422 + 0.0001177 + 0.0001190 + 0.0001045 + \\
 &\quad 0.0001236 + 0.0000924 + 0.0000804 + 0.0001387 + 0.0001139 + 0.0001349 \\
 &= 0.0012498
 \end{aligned}$$

Nilai laju kegagalan tersebut digunakan untuk menghitung PFD pada kompresor trip. Nilai PFD didapatkan dengan menggunakan konfigurasi MooN *average before logic*. Maka, nilai PFD kompresor trip adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 PFD &= \frac{\lambda(TI)}{2} \\
 &= \frac{0.0012496(24)}{2}
 \end{aligned}$$

= 0.015

Nilai PFD kompresor trip adalah 0.015. Berdasarkan IEC 62061, kompresor termasuk pada tipe B yaitu *Electromechanical, e.g. relays, or non complex electronics*. Pada tipe tersebut peralatan harus memiliki nilai hingga SIL 3. Pada kompresor sudah menunjukkan SIL 1, nilai tersebut sudah memenuhi standar yang ada pada IEC 62061. Maka dari itu diberikan rekomendasi peningkatan nilai SIL agar penggunaan kompresor menjadi lebih aman. Penambahan konfigurasi menggunakan metode perubahan konfigurasi *MooN average after control*.

Tabel 3 menunjukkan konfigurasi *after control* pada kompresor. Nilai tingkat keamanan yang harus dimiliki pada kompresor agar sesuai dengan IEC 62061 adalah SIL 1 hingga SIL 3. Peningkatan SIL berguna untuk mengurangi tingkat kegagalan dari peralatan.

Tabel3
 Peningkatan Nilai SIL

Konfigurasi	PFD $\lambda = 0.0012496$	SIL
1001	0.0149952	1
1002	0.000299808	3
2002	0.0299904	1
1003	6.74352E-06	4

Sumber : Data penulis, 2018

Konfigurasi yang memenuhi nilai tersebut adalah 1002 dan 2003. Konfigurasi yang dipilih adalah 1002 karena perusahaan hanya perlu menambahkan 1 *final element* maupun sensor pada kompresor. Pemasangan dilakukan secara paralel agar tingkat kegagalan semakin rendah yang membuat nilai SIL semakin tinggi. Pada penelitian ini peralatan akan ditambahkan di salah satu komponen yaitu 2RV dengan $\lambda = 0.0001387$.

Relief valve termasuk pada FC (*Final Control Element*) dengan tipe *air operated* (Torres-Echeverria, 2009). Setelah diketahui nilai laju kegagalannya maka dihitung kembali nilai PFD untuk memastikan bahwa *relief valve* tersebut dapat meningkatkan tingkat keamanan dari kompresor trip. Sehingga nilai PFD kompresor trip yang baru adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{kompresor trip}} &= 1 + 2 + 4 + 5 + 6 + 8 + 9 + 10 + 11 + (13 \times \text{FC}) + 14 + 15 \\ &= 0.0001002 + 0.0000823 + 0.0000422 + 0.0001177 + 0.0001190 + \\ &0.0001045 + 0.0001236 + 0.0000924 + 0.0000804 + \\ &(0.0001387 \times 0.00000079) + 0.0001139 + 0.0001349 \\ &= 0.0011111 \end{aligned}$$

Nilai laju kegagalan tersebut digunakan untuk menghitung PFD pada kompresor trip. Nilai PFD didapatkan dengan menggunakan konfigurasi *MooN average after logic*. Maka, nilai PFD kompresor trip adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{PFD} &= \frac{\lambda^2 (\text{TI})^2}{3} \\ &= \frac{0.00100465^2 (24)^2}{3} \\ &= 0.000237 \end{aligned}$$

Perhitungan di atas menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan satu *final control element* dapat meningkatkan tingkat kemananan. Nilai semula SIL 1 naik menjadi SIL 3 dengan menambahkan *relief valve* yang dipasang secara paralel. Nilai SIL yang cukup dan sesuai standar dapat memberikan keamanan bagi pekerja dan peralatan serta mengurangi tingkat kegagalan dari peralatan.

KESIMPULAN

Terdapat 5 komponen yang menyebabkan kompresor trip antara lain *first stage compressor, second stage compressor, after cooler, intercooler, dan oil cooler*. Hasil perhitungan SIL kompresor trip *existing* memiliki nilai SIL 1 dengan PFD sebesar 0.015. Peningkatan SIL melalui desain ulang SIS sistem kompresor trip tercapai pada SIL 3 dengan PFD 0.000237 dengan menambah instalasi satu *final control element* berupa *relief valve*.

DAFTAR PUSTAKA

Center for Chemical Process Safety. (2008). *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*.

- Center for Chemical Process Safety. (2015). *Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis*.
- ISA. (2002). *Safety Instrumented Function (SIF) - Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques Part 3 : Determining the SIL of a SIF via Fault Tree Analysis*.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2016).
- Lee, Y., Kim, J. J., Kim, J. J., & Moon, I. (2009). *A Verification of Fault Tree for Safety Integrity Level Evaluation*. Fukoka: ICROS-SICE International Joint Conference.5548-5551
- Smith, D. J., & Simpson, K. G. L. (2004). *Functional Safety A Straightforward Guide to Applying IEC 61508 and Related Standard* (2nd ed.). Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Torres-Echeverria, A. C. (2009). *Modelling and Optimization of Safety Instrumented Systems Based on Dependability and Cost Measures*. Sheffield: Department of Automatic Control and System Engineering The University of Sheffield.
- United State Nuclear Regulatory Commision. (2000). *Fault Tree Handbook*.