

## DESAIN ENGINEERING SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM (SIS) PADA FURNACE 5 (F05) KILANG PUSDIKLAT MIGAS

Oleh : Supriyanto Sikumbang \*)

### ABSTRAK

*SIS (Safety Instrumented System) berfungsi untuk mengamankan manusia, plant (furnace) dan lingkungan dari kemungkinan kejadian bahaya. Furnace memiliki beberapa potensi bahaya seperti low low pressure dan high high temperature. SIS mengamankan furnace dengan cara menghentikan proses yang sedang berlangsung pada furnace. SIS pada furnace membutuhkan tingkatan SIL tertentu yang dapat diperoleh melalui assesmen sistem. Assesmen sistem dilakukan melalui penentuan target SIL dan verifikasi SIL. Sedangkan perancangan SIS dilakukan melalui peningkatan frekwensi Tes Interval (TI) dan penerapan konfigurasi redundant.*

### I. PENDAHULUAN

#### a. Latar Belakang

Furnace memiliki beberapa kondisi bahaya (hazardous condition) atau tidak aman (unsafe) yang mungkin terjadi, yang dapat menimbulkan kecelakaan. Kecelakaan yang dapat terjadi misalnya kebakaran yang disebabkan oleh pecahnya atau bocornya pipa (tube furnace) yang mengalirkan minyak mentah pada proses pemanasan oleh furnace. Kebocoran pipa ini salah satunya dapat disebabkan oleh temperatur yang terlalu tinggi. Untuk itu diperlukan komponen pengendali (controler) untuk menjaga setiap parameter proses (temperatur, tekanan dan aliran) pada furnace supaya tetap terjaga pada titik operasinya.

Apabila BPCS (Basic Proess Control System) sudah tidak mampu lagi menjaga titik operasi tiap parameter proses pada furnace, maka sistem alarm yang merupakan lapisan proteksi berikutnya akan bekerja. Sistem alarm ini memerlukan sikap tanggap dari operator atau orang yang berada di area furnace tersebut untuk melakukan tindakan-tindakan guna mencegah bahaya berlanjut. Dan apabila BPCS dan operator sudah tidak mampu lagi melakukan fungsinya, maka diperlukan Safety Instrumented System (SIS) yang dapat menghentikan proses pemanasan pada furnace yang sedang berada dalam kondisi bahaya tersebut.

Sistem instrumentasi yang mempunyai fungsi keselamatan seperti ini dikenal dengan Safety Instrumented System (SIS). Oleh karena itu, BPCS dan SIS pada furnace menjadi hal yang sangat penting untuk mencapai optimasi proses dan menjaga sistem supaya berada pada kondisi yang aman apabila terjadi kejadian bahaya.

Tingkat kehandalan dari sebuah SIS dapat diketahui melalui nilai Probability Failure on Demand (PFD). PFD merupakan kemungkinan SIS gagal dalam menjalankan Safety Instrumented Function (SIF). Dari nilai PFD ini kemudian akan merepresentasikan angka target yang mencerminkan integritas keselamatan yang dapat dicapai oleh suatu SIF pada suatu SIS yang disebut dengan Safety Integrity Level (SIL).

SIL yang dibutuhkan pada suatu proses belum tentu sama dengan proses yang lainnya. Hal ini karena penentuan SIL harus sesuai dengan isu-isu bahaya yang ada pada suatu proses tersebut. Oleh karena itu, sebelum melakukan eveluasi terhadap SIL, maka sebelumnya harus dilakukan dulu penentuan SIL yang diperlukan oleh proses tersebut.

Sistem instrumentasi yang ada di kilang Pusdiklat Migas Cepu masih menggunakan sistem gabungan pneumatik yang konvensional dan aplikasi Distributed Control System (DCS) untuk keperluan kendali proses (BPCS). Sedangkan safety

Programable Logic Control (safety PLC) untuk keperluan sistem keselamatan masih belum digunakan sehingga aplikasi SIS (Shutdown System) masih belum ada.

Unit furnace yang ada di kilang Pusdiklat Migas Cepu terdiri lima unit furnace dengan sebuah furnace tipe vertical cylindrical baru yang aktif (F05) dan empat buah furnace tipe box yang sudah non aktif (F01-F04). Oleh karena itu, obyek penelitian ini dilakukan hanya pada salah satu unit furnace saja yaitu Furnace F05.

### b. Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dibuatnya penelitian ini adalah untuk:

1. Menentukan target Safety Integrity Level (SIL) yang dibutuhkan pada furnace Pusdiklat Migas.
2. Merancang SIS yang dibutuhkan pada furnace 5 (F05) Pusdiklat Migas.
3. Mengevaluasi kemungkinan modifikasi dan penambahan SIS pada furnace Pusdiklat Migas yang sudah ada sekarang.

## II. DASAR TEORI

### 2.1. Safety Instrumented System (SIS)

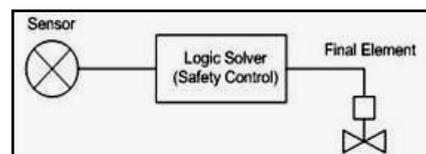
Safety Instrumented System (SIS) memiliki nama lain yaitu shutdown system/Emergency Shutdown System (ESD system)/High Integrity Protection System (HIPS). Definisi Safety Instrumented System (SIS) sesuai standard ISA S84 merupakan peralatan/sistem yang dirancang untuk memonitor kondisi berbahaya dalam suatu plant (dalam hal ini unit operasi) dan melakukan aksi apabila terjadi kondisi berbahaya atau kondisi dimana jika tidak dilakukan aksi maka akan menimbulkan bahaya. Peralatan/sistem ini akan menghasilkan output yang akan mencegah bahaya/mengurangi akibatnya.

SIS digunakan untuk mendeteksi kejadian berbahaya dalam suatu plant dan melakukan aksi apabila terjadi kondisi berbahaya atau kondisi dimana jika tidak dilakukan aksi

maka akan menimbulkan bahaya berkelanjutan.

Jika SIS gagal bekerja atau gagal menjalankan fungsinya, maka dapat mengakibatkan kecelakaan, misalnya ledakan, kebakaran, dan lain sebagainya. Selain itu, SIS juga dapat digunakan untuk mitigasi bencana atau kecelakaan yang dapat berdampak terhadap kesehatan (health), aset material atau keuangan (finance), dan lingkungan (environment).

SIS dapat dibagi menjadi tiga subsistem yaitu input elements, logic solver, dan final elements. Input element digunakan untuk mendeteksi pemicu kejadian berbahaya, logic solver berfungsi untuk memutuskan apa yang harus dilakukan, dan final element berfungsi untuk melaksanakan aksi sesuai dengan keputusan. Berikut ini adalah gambar diagram blok dari SIS:



Gambar 2.1: Diagram Blok SIS

Sumber: Paul Gruhn, 2006

Elemen input dapat berupa switch, sensor maupun transmitter. Sensor digunakan untuk mengukur aliran (flow), tekanan, temperatur, level dan radiasi. Sensor yang berbasis PE biasanya merujuk kepada sebuah smart sensor/smart transmitter.

Logic solver merupakan otak dari SIS dan dapat terdiri dari relay-relay elektrik, komponen elektronik atau safety PLC. Logic solver berbasis relay biasanya merujuk pada direct wired logic karena input element langsung berinteraksi dengan final element melalui relay elektrik.

Final element dapat berupa katup, relay, circuit breaker yang mampu menghentikan aliran (flow) dan mengisolasi peralatan elektrik. Untuk meningkatkan keselamatan dan kehandalan biasanya digunakan lebih

dari satu final element yang mempunyai fungsi yang sama.

## 2.2. Safety Integrity Level (SIL)

SIL adalah tingkat kemampuan SIF yang harus berhasil melakukan risk reduction yang disyaratkan. SIL berhubungan dengan Probability of Failure on Demand (PFD) dari suatu SIF. Semakin tinggi nilai SIL, maka PFD dari SIS semakin kecil. Tingkat SIL dari suatu SIS ditentukan oleh nilai PFD dari tiap-tiap SIF penyusun SIS itu sendiri, yaitu transmitter, logic solver dan on-off valve serta arsitektur/konfigurasi elemen-elemen terse-but dalam membangun SIS.

PFD merupakan angka target untuk SIL. PFD merupakan probabilitas suatu komponen / sistem gagal menjalankan fungsi yang dimintakan.

ANSI/ISA-84.01-1996 mendefinisikan tiga tingkat SIL, yaitu SIL1, SIL2, SIL3. Adapun definisi SIL 4 yang merujuk ke standar International Electrotechnical Commission (IEC). Tingkatan SIL dijelaskan dalam tabel sbb:

Tabel 2.2: Level SIL

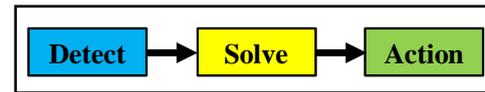
Safety Integrity Level	Safety	Probability of Failure on Demand	Risk Reduction Factor
SIL 4	> 99.99%	0.001% to 0.01%	100,000 to 10,000
SIL 3	99.9% to 99.99%	0.01% to 0.1%	10,000 to 1,000
SIL 2	99% to 99.9%	0.1% to 1%	1,000 to 100
SIL 1	90% to 99%	1% to 10%	100 to 10

Sumber: Kenexis, 2010

## 2.3. Safety Instrumented Function (SIF)

SIF adalah sebuah fungsi yang diimplementasikan oleh SIS yang ditujukan untuk mencapai atau menjaga kondisi aman proses dengan mengacu pada sebuah kejadian berbahaya (hazardous) yang spesifik. Jadi SIS ini nantinya akan banyak mempunyai SIF.

Masing-masing SIF harus dirancang dan dites untuk memenuhi target SIL (Safety Integrity Level). Diagram blok SIF digambarkan sbb:



Gambar 2.3: Diagram blok SIF  
Sumber: Hasil pengujian, 2012

Setiap SIF mempunyai arsitektur yang sama atau pun berbeda antara satu dengan yang lain. Oleh karena itu, perhitungan PFD harus terlebih dahulu mengidentifikasi arsitektur untuk masing-masing SIF sehingga dapat disesuaikan dengan persamaan yang akan digunakan. Berdasarkan ISA-TR84.00.02-2002 terdapat enam tipe arsitektur SIF. Berikut ini adalah pengertian dari penomoran arsitektur SIF untuk mengidentifikasi arsitektur SIF yang dipakai yaitu sbb:

- 1) 1oo1 artinya one out of one, terdapat 1 keluaran dari 1 SIF.
- 2) 1oo2 artinya one out of two, terdapat 1 keluaran dari 2 SIF.
- 3) 1oo3 artinya one out of three, terdapat 1 keluaran dari 3 SIF.
- 4) 2oo2 artinya two out of two, terdapat 2 keluaran dari 2 SIF.
- 5) 2oo3 artinya two out of three, terdapat 2 keluaran dari 3 SIF.
- 6) 2oo4 artinya two out of four, terdapat 2 keluaran dari 4 SIF.

## 2.4. Furnace

Kilang Pusdiklat Migas menggunakan furnace tipe vertical cylindrical. Tipe ini memiliki burner yang dipasang vertikal pada dinding sehingga nyala api searah / segaris dengan pipa. Tipe ini memiliki keunggulan dari segi efisiensi dan keekonomisan dalam proses dan penggunaan bahan bakar. Karakteristik tipe vertical cylindrical furnace pada furnace 5 (F05) adalah sbb:

- a. Bagian radiasinya berbentuk silinder dengan sumbu vertikal.
- b. Burner/pembakar terletak dilantai dasar silinder.

Berikut ini adalah gambar dari furnace kilang Pusdiklat Migas:



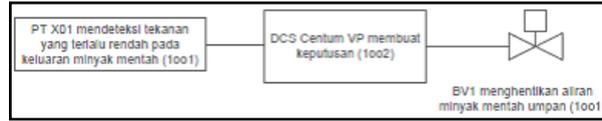
Gambar 2.4: Furnace 5 Pusdiklat Migas  
Sumber: Hasil observasi, 2012

Kejadian bahaya pada furnace dapat berupa bocor/pecahnya tube di convection section furnace sehingga menyebabkan kebakaran besar. Aliran minyak ke furnace tidak bisa diisolasi dan pompa tidak dapat dimatikan karena valves dan switch terlalu dekat ke furnace.

Kegagalan ini terjadi karena overheating furnace tubes yang berkepanjangan selama pengoperasian dengan mode maximum output. Hal ini menyebabkan terjadinya "creep failure". Tubes overheated karena tidak memadainya instrumen BPCS untuk memonitor kondisi furnace dan juga operator tidak sepenuhnya memahami gejala dan konsekwensi jika tubes overheated.

**III. ASSESMEN SISTEM**  
**3.1. Penentuan Target SIL**

Metode risk graph matrix pada penelitian ini dibuat berdasarkan beberapa skenario bahaya yang mungkin terjadi pada Furnace F05. Skenario-skenario bahaya ini nantinya akan menjadi pertimbangan dalam penentuan target SIL yang dibutuhkan oleh Furnace F05 tersebut. Penentuan target SIL diperoleh dengan menggunakan metode Risk Graph Matrix yang hasilnya ditunjukkan pada tabel sbb:



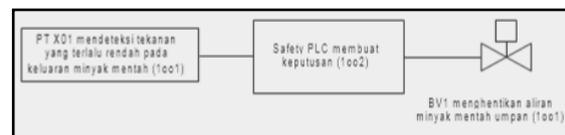
Tabel 3.1: Hasil risk graph matrix

Deskripsi kejadian bahaya	Deskripsi SIF	Konsekuensi (consequence)		Pengaruh (influence)		Permintaan (demand)	Kemungkinan (likelihood)	Integritas (integrity)		Keterangan
		Tipe	C	F	P			W	Jumlah (F+P+W)	
Tekanan yang terlalu rendah pada keluaran minyak mentah Furnace F05 disebabkan karena kebocoran pada tube dan dapat menyebabkan kebakaran atau ledakan apabila minyak mentah tersebut tumpah ke dalam Pre box.	Tekanan yang terlalu rendah pada keluaran minyak mentah akan menghentikan aliran minyak mentah umpan yang masuk.	H	E	2	1	3	6	1	1	Belum terdapat sistem keaman untuk mereduksi aliran minyak mentah.
		E	D	1	1		5	0		
		F	F				5	0		
Temperatur yang terlalu tinggi pada keluaran minyak mentah dapat menyebabkan kebocoran tube dan tekanan yang tinggi pada Pre box, sehingga dapat menyebabkan kebakaran maupun ledakan. Dan ketika tekanan keluaran minyak mentah terlalu rendah maka potensi ledakan akan semakin besar karena adanya kemungkinan tube yang bocor.	Temperatur yang terlalu tinggi pada keluaran minyak mentah akan menghentikan aliran bahan bakar minyak.	H	F	2	1	3	6	2	3	Belum terdapat sistem keaman untuk mereduksi aliran bahan bakar minyak.
		E	E				5	1		
		F	F	1	1		5	0		

Pada tabel diatas terlihat bahwa dua buah SIF (SIF 1 dan SIF 2) diperlukan untuk melakukan fungsi keselamatan pada sistem Furnace F05.

**3.1.1. SIF 1**

Tekanan yang terlalu rendah (low low/LL pressure) pada keluaran minyak mentah dari Furnace F05 merupakan kejadian berbahaya yang dapat memicu kecelakaan proses. Tekanan yang terlalu rendah ini dapat terjadi karena beberapa sebab, namun penyebab utama yang dapat memicu kecelakaan adalah penurunan tekanan yang disebabkan oleh kebocoran tube yang ada di dalam furnace. Apabila kondisi ini dibiarkan maka dapat mengakibatkan kebakaran atau bahkan ledakan pada Furnace F05. SIF 1 ini digambarkan sbb:

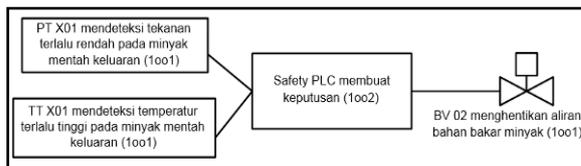


Gambar 3.1: SIF 1  
Sumber: Hasil pengujian, 2012

Untuk mencegah kejadian bahaya akibat penurunan tekanan ini, maka diperlukan SIF yang dapat melakukan trip pada aliran minyak mentah umpan yang masuk melewati Furnace F05.

### 3.1.2. SIF 2

Ketika terjadi tekanan yang terlalu rendah pada keluaran minyak mentah, trip tidak hanya dilakukan pada aliran minyak mentah umpan (SIF 1), trip juga diperlukan pada aliran bahan bakar minyak (SIF 2). Hal ini dilakukan untuk menghindari kebakaran/ledakan yang mungkin terjadi akibat penurunan tekanan minyak mentah keluaran yang diduga diakibatkan oleh kebocoran tube Furnace F05. SIF 2 digambarkan sbb:



Gambar 3.2: SIF 2

Sumber: Hasil pengujian, 2012

Temperatur yang terlalu tinggi pada keluaran minyak mentah juga dapat mempengaruhi optimasi dan keamanan pada furnace maupun pada unit proses lain, misalnya temperatur yang tidak sesuai dengan permintaan temperatur pada masukan kolom distilasi. Lebih jauh lagi temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kenaikan temperatur di dalam ruang Furnace F05. Hal ini sangat berbahaya mengingat tube furnace mempunyai batas temperatur maksimum.

Untuk mengantisipasi kejadian berbahaya ini maka diperlukan SIF yang dapat melakukan trip pada aliran bahan bakar minyak sehingga proses pembakaran pada furnace dapat dihentikan.

## 3.2. Verifikasi SIL

### 3.2.1. Simplified Equation

Nilai  $PFD_{avg}$  untuk tiap komponen SIS didapat dengan menggunakan persamaan untuk konfigurasi l001. Adapun nilai  $PFD_{avg}$  untuk catu daya diasumsikan bernilai nol karena untuk membawa suatu plant pada kondisi aman, maka sistem dirancang untuk de-energize to trip. Nilai  $PFD_{avg}$  tersebut dapat dilihat pada tabel sbb:

Tabel 3.2: Hasil metode simplified equation

Komponen		MTBF	$\lambda_{DU}$ (per tahun)	$PFD_{avg}$ (l001)
Input element	Pressure Transmitter (PT X01)	1300 tahun	$7,69 \times 10^{-4}$	$7,69 \times 10^{-4}$
	Temperature Transmitter (TT X01)	1300 tahun	$7,69 \times 10^{-4}$	$7,69 \times 10^{-4}$
Logic solver	Safety PLC Prosafe	7000 tahun	$1,43 \times 10^{-4}$	$1,43 \times 10^{-4}$
Final element	BV1/ BV 2	-	$1,16 \times 10^{-2}$	$3,66 \times 10^{-2}$
	SOL1/SOL2	-	$2,48 \times 10^{-2}$	

Sumber: Hasil pengujian, 2012

Komponen yang digunakan pada SIF 1 ditunjukkan pada tabel sbb:

Tabel 3.3: Komponen pada SIF 1

Komponen		$PFD_{avg}$ (l001)
Input element	Pressure Transmitter (PT X01)	$7,69 \times 10^{-4}$
Logic solver	Safety PLC Prosafe	$1,43 \times 10^{-4}$
Final element	BBV1 dan SOL1	$3,66 \times 10^{-2}$

Sumber: Hasil pengujian, 2012

Maka nilai  $PFD_{avg}$  SIF 1 adalah:

$$\begin{aligned}
 PFD_{SIS} &= \sum PFD_{Si} + \sum PFD_{Ai} + \sum PFD_{Li} + \sum PFD_{PSi} \\
 &= 7,69 \times 10^{-4} + 3,66 \times 10^{-2} + 1,43 \times 10^{-4} + 0 \\
 &= 3,75 \times 10^{-2}
 \end{aligned}$$

Nilai PFD diatas menunjukkan nilai  $PFD_{avg}$  untuk SIL 1.

Komponen yang digunakan pada SIF 2 ditunjukkan pada tabel sbb:

Tabel 3.4: Komponen pada SIF 1

Komponen		$PFD_{avg}$ (l001)
input element	Pressure Transmitter (PT X01)	$7,69 \times 10^{-4}$
	Temperature Transmitter (TT X01)	$7,69 \times 10^{-4}$
logic solver	Safety PLC Prosafe	$1,43 \times 10^{-4}$
final element	Block valve (BV) 2	$3,66 \times 10^{-2}$
	Solenoid valve (SOL) 2	

Maka nilai  $PFD_{avg}$  SIF 2 adalah:

$$\begin{aligned}
 PFD_{avg} &= \sum PFD_{Si} + \sum PFD_{Ai} + \sum PFD_{Li} + \sum PFD_{Psi} \\
 &= (7,69 \times 10^{-4} + 7,69 \times 10^{-4}) + 3,66 \\
 &\quad \times 10^{-2} + 1,43 \times 10^{-4} + 0 \\
 &= 3,83 \times 10^{-2}
 \end{aligned}$$

Nilai PFD diatas menunjukkan nilai  $PFD_{avg}$  untuk SIL 1.

**3.2.2. Fault Tree Analysis (FTA)**

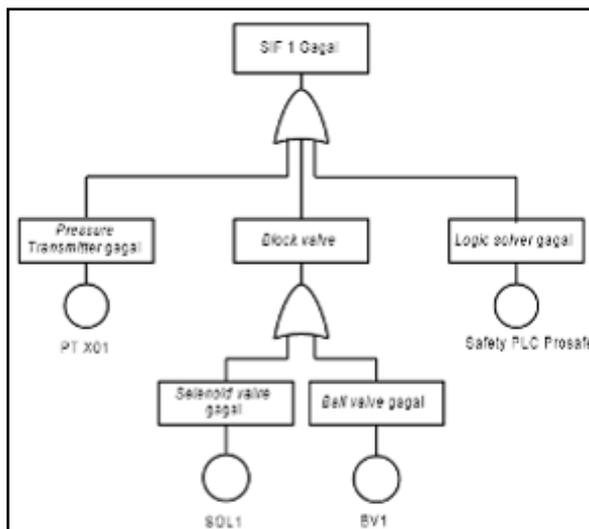
FTA umumnya merupakan proses iterasi yang melibatkan pemodelan SIF untuk menentukan nilai PFD dan modifikasi SIF untuk mencapai target SIF.  $PFD_{avg}$  untuk tiap komponen penyusun FTA (basic event) ditunjukkan dalam tabel sbb:

Tabel 3.5: Nilai  $PFD_{avg}$  tiap komponen

Komponen	MTBF	$\lambda_{DP}$ (per tahun)	$PFD_{avg}$
Input element	PT X01	1300 tahun	$7,69 \times 10^{-4}$
	TT X01	1300 tahun	$7,69 \times 10^{-4}$
Logic solver	Safety PLC Prosafe	7000 tahun	$1,43 \times 10^{-4}$
Final element	SOL1/SOL2	-	$2,48 \times 10^{-2}$
	BV1/BV2	-	$1,16 \times 10^{-2}$

Sumber: Hasil pengujian, 2012

Failure tree logic untuk SIF 1 dapat digambarkan sbb:



Gambar 3.3: Failure tree logic SIF 1  
Sumber: Hasil pengujian, 2012

Nilai  $PFD_{avg}$  tiap cut set untuk failure tree logic pada gambar diatas ditunjukkan pada tabel sbb:

Tabel 3.6:  $PFD_{avg}$  setiap cut set SIF 1

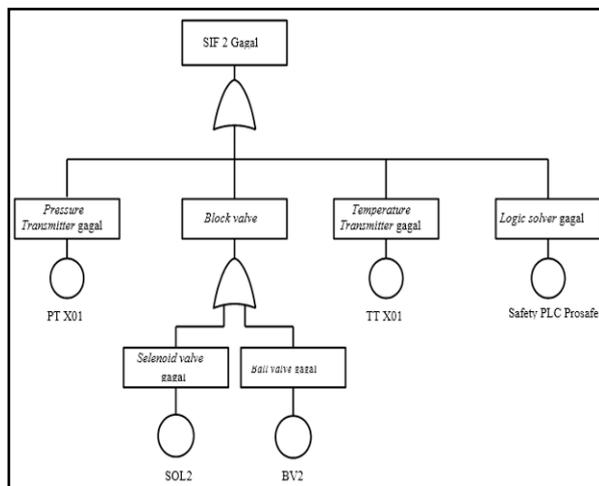
Cut set	Event	$PFD_{cut\ set}$
1	PT X01 gagal	$7,69 \times 10^{-4}$
2	SOL1 gagal	$2,48 \times 10^{-2}$
3	BV1 gagal	$1,16 \times 10^{-2}$
4	Safety PLC Prosafe gagal	$1,43 \times 10^{-4}$

$PFD_{avg}$  SIF konservatif diperhitungkan sbb:

$$\begin{aligned}
 PFD_{avg} &= 1 - \prod (1 - PFD_{cutset(i)}) \\
 PFD_{avg} &= 1 - \{(1 - 7,69 \times 10^{-4}) \times (1 - 2,48 \times 10^{-2}) \\
 &\quad \times (1 - 1,16 \times 10^{-2}) \times (1 - 1,43 \times 10^{-4})\} \\
 &= 3,70 \times 10^{-2}
 \end{aligned}$$

Nilai  $PFD_{avg}$  SIF diatas masuk ke dalam SIL1.

Failure tree logic SIF 2 digambarkan sbb:



Gambar 3.4: Failure tree logic SIF 2  
Sumber: Hasil pengujian, 2012

Nilai  $PFD_{avg}$  tiap cut set untuk failure tree logic pada gambar diatas ditunjukkan pada tabel sbb:

Tabel 3.7:  $PFD_{avg}$  setiap cut set SIF 2

Cut set	Event	$PFD_{cut\ set}$
1	PT X01 gagal	$7,69 \times 10^{-4}$
2	TT X01	$7,69 \times 10^{-4}$
3	SOL2 gagal	$2,48 \times 10^{-2}$
4	BV2 gagal	$1,16 \times 10^{-2}$
5	Safety PLC Prosafe gagal	$1,43 \times 10^{-4}$

$PFD_{avg}$  SIF konservatif diperhitungkan sbb:

$$PFD_{avg} = 1 - \prod (1 - PFD_{cutset(i)})$$

$$PFD_{avg} = 1 - \{(1 - 7,69 \times 10^{-4}) \times (1 - 7,69 \times 10^{-4}) \times (1 - 2,48 \times 10^{-2}) \times (1 - 1,16 \times 10^{-2}) \times (1 - 1,43 \times 10^{-4})\}$$

$$= 3,77 \times 10^{-2}$$

Nilai  $PFD_{avg}$  SIF diatas masuk kedalam SIL1.

### 3.2.3. Hasil Verifikasi

Pada hasil verifikasi SIL untuk kedua SIF pada desain SIS yang dibuat menunjukkan bahwa SIF 1 telah memenuhi target SIL yang diminta yaitu SIL 1. Sedangkan pada SIF 2, target SIL (SIL 2) tidak tercapai. Hasil verifikasi SIL untuk desain SIS tersebut dapat dilihat pada tabel sbb:

Tabel 3.8: Hasil verifikasi SIL

No. SIF	Nilai $PFD_{avg}$		SIL aktual		Target SIL
	Simplified equation	FTA	Simplified equation	FTA	
1	$3,75 \times 10^{-2}$	$3,70 \times 10^{-2}$	1	1	1
2	$3,83 \times 10^{-2}$	$3,77 \times 10^{-2}$	1	1	2 (tidak tercapai)

Sumber: Hasil pengujian, 2012

Tabel diatas menunjukkan penggunaan metode simplified equation maupun metode FTA tidak memberikan perbedaan nilai  $PFD_{avg}$  yang signifikan. Perbedaan nilai  $PFD_{avg}$  yang diperoleh dari kedua metode tersebut sangat kecil, hal ini terlihat dari angka target (SIL) yang dihasilkan dari kedua metode tersebut, mengingat angka target (SIL) merupakan rentang nilai  $PFD_{avg}$  yang harus dicapai untuk menjaga

keselamatan pada suatu plant, dan rentang  $PFD_{avg}$  dari kedua metode tersebut masuk kedalam angka target (SIL) yang sama.

Nilai  $PFD_{avg}$  untuk SIF 1 mengandung arti bahwa SIF tidak akan menyediakan fungsi keselamatannya selama 0,0375% waktu atau sekitar 27 hari dalam periode waktu 2 tahun. Dan SIF 2 mengandung arti bahwa SIF tidak akan menyediakan fungsi keselamatannya selama 0,0383% waktu, atau sekitar 28 hari dalam orde 2 tahun.

Tabel diatas juga memperlihatkan tidak tercapainya target SIL oleh SIF 2. Berdasarkan hasil penentuan SIL untuk Furnace F05, SIF 2 harus mampu menyediakan fungsi keselamatan yang setara dengan SIL 2. Dengan tidak tercapainya target SIL pada SIF 2 ini, maka perlu dilakukan teknik-teknik reduksi risiko untuk mencapai target SIL pada SIF 2.

Teknik reduksi resiko yang digunakan pada penelitian ini adalah sbb:

- Meningkatkan frekuensi Tes Interval (TI).
- Menerapkan konfigurasi redundan.

## IV. PERANCANGAN

### 4.1. Meningkatkan Frekwensi Tes Interval (TI)

Tes Interval (TI) awal yang dipakai dalam perhitungan sebelumnya adalah setiap 2 tahun. Hal ini sesuai dengan kondisi pada plant yang secara periodik melakukan pemeliharaan dan pergantian alat setiap dua tahun sekali/saat Turn Around (TA). Untuk melakukan reduksi risiko, maka TI yang digunakan akan divariasikan. Perhitungan pertama menggunakan TI sebesar 1 tahun dan perhitungan kedua menggunakan TI sebesar 6 bulan ( $\frac{1}{2}$  tahun).

Hasil perhitungan  $PFD_{avg}$  tiap komponen (input element, logic solver, final element) pada metode simplified equation ini diperlihatkan pada tabel sbb:

Tabel 4.1: Nilai PFD<sub>avg</sub> baru komponen SIF 2

Komponen		$\lambda$ (per tahun)	PFD <sub>avg</sub> (TI = 1 tahun)	PFD <sub>avg</sub> (TI = 1/2 tahun)
Input	Pressure Transmitter (PT X01)	$7,69 \times 10^{-4}$	$3,85 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-4}$
Input	Temperature Transmitter (TT X01)	$7,69 \times 10^{-4}$	$3,85 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-4}$
Logic solver	Safety PLC Prosafe	$1,43 \times 10^{-4}$	$7,15 \times 10^{-5}$	$3,58 \times 10^{-5}$
Final element	BV 2	$1,16 \times 10^{-2}$	Jumlah = $3,66 \times 10^{-2}$ $1,83 \times 10^{-2}$	$9,15 \times 10^{-3}$
Final element	SOL2	$2,48 \times 10^{-2}$	Jumlah = $3,66 \times 10^{-2}$ $1,83 \times 10^{-2}$	$9,15 \times 10^{-3}$

Sumber: Hasil pengujian, 2012

Maka nilai PFD<sub>avg</sub> SIF 2 untuk TI = 1 tahun adalah:

$$\begin{aligned}
 PFD_{avg} &= \sum PFD_{Si} + \sum PFD_{Ai} + \sum PFD_{Li} + \sum PFD_{PSi} \\
 &= (3,85 \times 10^{-4} + 3,85 \times 10^{-4}) + 1,83 \times 10^{-2} + 7,15 \times 10^{-5} + 0 \\
 &= 1,91 \times 10^{-2}
 \end{aligned}$$

Nilai PFD<sub>avg</sub> diatas masih masuk SIL 1.

Maka nilai PFD<sub>avg</sub> SIF 2 untuk TI = 1/2 tahun adalah:

$$\begin{aligned}
 PFD_{avg} &= \sum PFD_{Si} + \sum PFD_{Ai} + \sum PFD_{Li} + \sum PFD_{PSi} \\
 &= (1,92 \times 10^{-4} + 1,92 \times 10^{-4}) + 9,15 \times 10^{-3} + 3,58 \times 10^{-5} + 0 \\
 &= 9,57 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

Nilai PFD<sub>avg</sub> diatas sudah masuk SIL 2.

Nilai PFD<sub>avg</sub> metode FTA yang didapatkan ditunjukkan pada tabel sbb:

Tabel 4.2: Nilai PFD<sub>avg</sub> tiap komponen (FTA)

Komponen		$\lambda$ (per tahun)	PFD <sub>avg</sub> (TI = 1 tahun)	PFD <sub>avg</sub> (TI = 1/2 tahun)
Input element	Pressure Transmitter (PT X01)	$7,69 \times 10^{-4}$	$3,85 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-4}$
	Temperature Transmitter (PT X01)	$7,69 \times 10^{-4}$	$3,85 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-4}$
Logic solver	Safety PLC Prosafe	$1,43 \times 10^{-4}$	$7,15 \times 10^{-5}$	$3,58 \times 10^{-5}$
Final element	BV 2	$1,16 \times 10^{-2}$	$5,8 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-3}$
	SOL2	$2,48 \times 10^{-2}$	$1,24 \times 10^{-2}$	$6,2 \times 10^{-3}$

Fault tree logic untuk melakukan perhitungan ini masih sama seperti sebelumnya karena perubahan fault tree logic hanya dipengaruhi oleh konfigurasi komponen-komponen yang digunakan.

PFD<sub>avg</sub> cut set untuk TI = 1 tahun dan TI = 1/2 tahun diuraikan pada tabel sbb:

Tabel 4.3: PFD<sub>avg</sub> untuk setiap cut set

Cut set	Event	PFD <sub>avg</sub> (TI = 1 tahun)	PFD <sub>avg</sub> (TI = 1/2 tahun)
1	PT X01 gagal	$3,85 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-4}$
2	TT X01 gagal	$3,85 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-4}$
3	SOL2 gagal	$1,24 \times 10^{-2}$	$6,2 \times 10^{-3}$
4	BV2 gagal	$5,8 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-3}$
5	Safety PLC Prosafe gagal	$7,15 \times 10^{-5}$	$3,58 \times 10^{-5}$

PFD<sub>avg</sub> SIF untuk TI = 1 tahun adalah:

$$\begin{aligned}
 PFD_{avg} &= \sum PFD_{cutset(i)} \\
 PFD_{avg} &= 1 - \{(1 - 3,85 \times 10^{-4}) \times (1 - 3,85 \times 10^{-4}) \times (1 - 1,24 \times 10^{-2}) \times (1 - 5,8 \times 10^{-3}) \times (1 - 7,15 \times 10^{-5})\} \\
 &= 1,90 \times 10^{-2}
 \end{aligned}$$

Nilai PFD<sub>avg</sub> SIF di atas masih termasuk ke dalam SIL 1.

PFD<sub>avg</sub> SIF untuk TI = 1/2 tahun adalah:

$$\begin{aligned}
 PFD_{avg} &= 1 - \prod (1 - PFD_{cutset(i)}) \\
 PFD_{avg} &= 1 - \{(1 - 1,92 \times 10^{-4}) \times (1 - 1,92 \times 10^{-4}) \times (1 - 6,2 \times 10^{-3}) \times (1 - 2,9 \times 10^{-3}) \times (1 - 3,58 \times 10^{-5})\} \\
 &= 9,50 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

Nilai PFD<sub>avg</sub> SIF diatas sudah termasuk kedalam SIL 2.

#### 4.2. Menerapkan Konfigurasi Redundant

Untuk menerapkan sistem redundant pada komponen penyusun SIS, banyak hal yang harus dipertimbangkan. Pertimbangan yang paling utama adalah biaya, baik biaya untuk pengadaan komponen maupun biaya pemeliharaan yang dibutuhkan oleh komponen tersebut selama beroperasi nanti. Cara sederhana dan logis yang dapat dilakukan adalah dengan mengestimasi komponen-komponen pada SIF yang memiliki persentase paling besar dalam menyebabkan kegagalan pada SIF tersebut.

Seperti terlihat pada tabel diatas, nilai-nilai PFD<sub>avg</sub> untuk setiap cut set yang menyebabkan top event (SIF 2 gagal) dapat dibandingkan dengan jumlah PFD<sub>avg</sub> untuk seluruh cut set sehingga dapat diperoleh

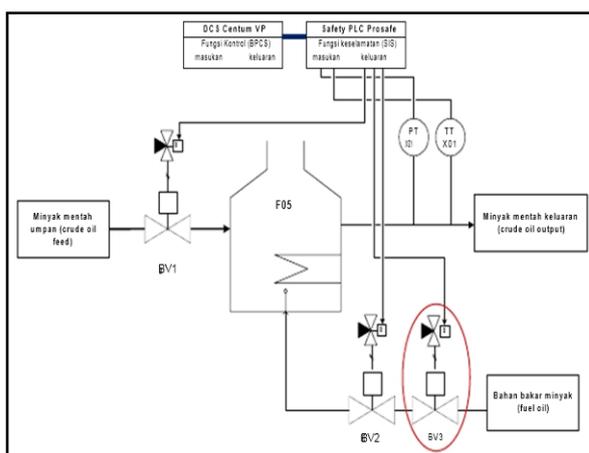
persentase kontribusi setiap cut set dalam menyebabkan kegagalan SIF. Persentase kontribusi kegagalan untuk setiap cut set diuraikan dalam tabel sbb:

Tabel 4.4: Persentase kontribusi tiap cut set

Cut set	Event	$PF_{D_{cut\ set}}$	% Contribution
1	SOL2 gagal	$2,48 \times 10^{-2}$	65,3
2	BV2 gagal	$1,16 \times 10^{-2}$	30,53
3	PT X01 gagal	$7,69 \times 10^{-4}$	2
4	TT X01 gagal	$7,69 \times 10^{-4}$	2
5	Safety PLC Prosafe gagal	$1,43 \times 10^{-4}$	0,38
<b>Jumlah <math>PF_{D_{cut\ set}} = 3,8 \times 10^{-2}</math></b>			

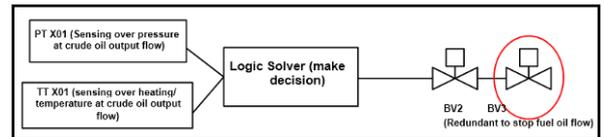
Tabel diatas menunjukkan SOL2 dan BV2 menempati dua urutan teratas penyebab kegagalan SIF, maka tahap selanjutnya adalah mendesain ulang SIS dengan menerapkan sistem redundant pada SOL2 dan BV2 dimana keduanya merupakan komponen final element.

Gambar berikut ini menunjukkan penambahan final element BV3 dan SOL3 sebagai aplikasi penggunaan sistem redundant untuk final element pada SIF 2 yang baru. Desain SIS yang baru untuk aksi Low Low (LL) pressure dan High High (HH) temperature digambarkan sbb:



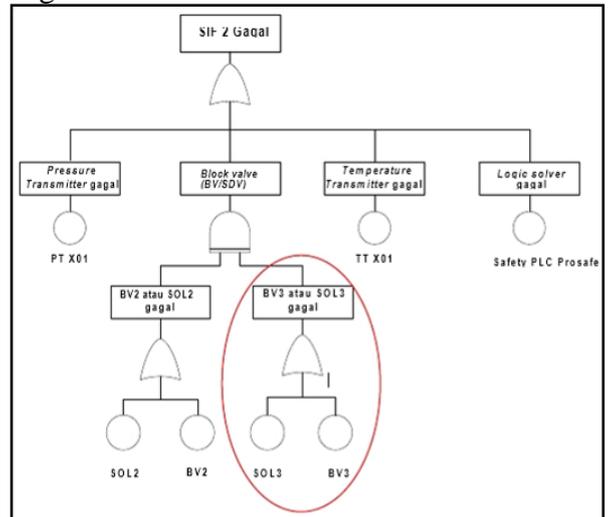
Gambar 4.1: Desain baru SIS pada SIF 2  
Sumber: Hasil pengujian, 2012

SIF 2 yang baru untuk gambar diatas dapat digambarkan sbb:



Gambar 4.2: Desain SIF 2 yang baru  
Sumber: Hasil pengujian, 2012

Desain fault tree logic SIF 2 yang baru digambarkan sbb:



Gambar 4.3: Fault tree logic SIS 2 yang baru  
Sumber: Hasil pengujian, 2012

Untuk mencari nilai  $PF_{D_{avg}}$  SIF 2 yang baru, Tes Interval (TI) yang dipakai adalah 2 tahun sesuai dengan keadaan aktual yang dilakukan di plant. Nilai  $PF_{D_{avg}}$  tiap cut set untuk failure tree logic pada gambar diatas ditunjukkan pada tabel sbb:

Tabel 4.5: Persentase kontribusi tiap cut set

Cut set	Event	$PF_{D_{cut\ set}}$
1	PT X01 gagal	$7,69 \times 10^{-4}$
2	TT X01 gagal	$7,69 \times 10^{-4}$
3	SOL2 dan SOL3 gagal	$2,48 \times 10^{-2} \times 2,48 \times 10^{-2} = 6,15 \times 10^{-4}$
4	SOL2 dan BV3 gagal	$2,48 \times 10^{-2} \times 1,16 \times 10^{-2} = 2,88 \times 10^{-4}$
5	BV2 dan BV3 gagal	$1,16 \times 10^{-2} \times 1,16 \times 10^{-2} = 1,35 \times 10^{-4}$
6	Safety PLC Prosafe gagal	$1,43 \times 10^{-4}$

Untuk mendapatkan nilai  $PF_{D_{avg}}$  yang konservatif untuk SIF 2 yang baru, maka  $PF_{D_{cut\ set}}$  diatas dijumlahkan dan hasilnya adalah:

$$PFD_{avg} = 1 - \prod (1 - PFD_{cutset(i)})$$

$$PFD_{avg} = 1 - \{(1-7,69 \times 10^{-4}) \times (1-7,69 \times 10^{-4}) \times (1-6,15 \times 10^{-4}) \times (1-2,88 \times 10^{-4}) \times (1-1,35 \times 10^{-4}) \times (1-1,43 \times 10^{-4})\}$$

$$= 2,72 \times 10^{-3}$$

Nilai  $PFD_{avg}$  yang baru untuk SIF 2 di atas sudah termasuk SIL 2.

Secara umum, hasil reduksi risiko yang dilakukan untuk mencapai target SIL 2 pada SIF 2 dengan cara memvariasikan nilai TI ditunjukkan pada tabel sbb:

Tabel 4.6: Persentase kontribusi tiap cut set

TI	PFD <sub>avg</sub>		SIL aktual	SIL target
	Metode Simplified equation	Metode FTA		
TI = 1 tahun	$1,91 \times 10^{-2}$	$1,90 \times 10^{-2}$	1	2
TI = ½ tahun	$9,57 \times 10^{-3}$	$9,50 \times 10^{-3}$	2 (tercapai)	2

Sumber: Hasil pengujian, 2012

Tabel diatas menunjukkan target SIL 2 untuk SIF 2 tercapai pada saat TI = ½ tahun. Seperti dijelaskan sebelumnya, kedua metode simplified equation dan metode FTA memberikan perbedaan nilai  $PFD_{avg}$  yang tidak terlalu signifikan, hal ini terlihat dari level SIL yang diperoleh.

## V. KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Furnace Pusdiklat Migas hendaknya perlu dilengkapi dengan SIS.
2. SIS yang sudah dirancang masih belum sepenuhnya mencapai target SIL yang dibutuhkan sehingga diperlukan teknik-teknik reduksi risiko.
3. Penggunaan komponen-komponen SIS yang handal ( $PFD_{avg}$  kecil) dan periode waktu pemeliharaan yang dilakukan secara berkala (TI) dapat meningkatkan tingkat integritas keselamatan instrumentasi.

### 5.2. Saran

Pada penelitian ini masih terdapat beberapa hal yang perlu disempurnakan dan dikembangkan lagi. Berikut adalah saran-saran yang dapat disampaikan penulis:

1. Hendaknya kilang Pusdiklat Migas dilengkapi SIS yang menyeluruh dan terintegrasi dengan DCS dan fire and gas system.
2. Sebaiknya dalam perancangan SIS digunakan software SIS ataupun software analisis lainnya seperti matlab dan sebagainya agar mendapatkan hasil analisis SIS yang lebih akurat, tepat dan lebih cepat lagi.
3. Untuk mencegah back pressure dan menjaga kelangsungan proses saat terjadi shutdown maka perlu dipasang surge tank dan bypass line yang dilengkapi dengan furnace cadangan (F06).

**DAFTAR PUSTAKA**

- The Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA), ANSI/ISA TR.84.00.02-2002-part 1, Safety Instrumented Function (SIF)-Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques Part 1: Introduction, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, NC, 2002.
- The Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA), ANSI/ISA 84.01-1996, Application of Safety Instrumented Systems to the Process Industries, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, NC, 1996.
- The Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA), ANSI/ISA TR.84.00.02-2002-part 2, Safety Instrumented Function (SIF)-Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques Part 2: Determining the SIL of a SIF via Simplified Equations, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, NC, 2002.
- The Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA), ANSI/ISA TR.84.00.02-2002-part 3, Safety Instrumented Function (SIF)-Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques Part 3: Determining the SIL of a SIF via Fault Tree Analysis, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, NC, 2002.
- David J. Smith. Reliability, Maintainability and Risk. Antony Rowe, Chippenham, Wiltshire, London, 2001.
- Mary Ann Lundteigen. Safety Instrumented System in The Oil and: Concepts and Methods for Safety and Reliability Assessments in Design and Operation, Tromsheim, 2008.
- Jennifer L. Bergtrom. Process Hazard and Risk Analysis Risk Graph Matrix. [http://www.processengr.com/ppt\\_presentations/safety\\_instrumented\\_systems.pdf](http://www.processengr.com/ppt_presentations/safety_instrumented_systems.pdf), 25 Mei 2011.

*\*) Penulis adalah staf Pusdiklat Migas*