

## PERANCANGAN ALAT MONITORING KOMPONEN KRITIS MESIN *TUNNEL KILN* BERBASIS MIKROKONTROLLER

Daniel Febri Kurniawan<sup>1)</sup>, Anda Iviana Juniani<sup>2)</sup>, Ii Munadhif<sup>3)</sup>

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

<sup>2,3)</sup>Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: danielfebrikurniawan@mail.com

### Abstract

*The design of tools that can monitor the critical components of the tunnel kiln machine is required in order to perform the maintenance activities appropriately and can improve the reliability of these components. In this study before the design of the tool, first do SIL (safety integrity level) and RPN (risk priority number) calculations to determine the category of critical components in the tunnel kiln machine components and conducted an analysis by RCM method in which also consists of two important stages of analysis that is the method of FMEA analysis and LTA method analysis for analyze the state of the tunnel kiln machine component and get the appropriate action recommendations.*

*Based on the calculation of SIL and RPN there are 8 components of tunnel kiln machine included in the category of critical components with SIL 0 and RPN > 61,78. While the result of RCM analysis got 2 components with recommendation of action of C.D, 1 component with recommendation of action of T.D, and 5 components with recommendation action F.F. While the result of tool design got increase of SIL design tool that is SIL 1.*

**Keywords:** *tunnel kiln machine, critical components, SIL, RPN, RCM*

### Abstrak

Perancangan alat yang dapat memonitoring komponen kritis mesin *tunnel kiln* diperlukan agar dapat dilakukan kegiatan *maintenance* secara tepat serta dapat meningkatkan kehandalan dari komponen tersebut. Pada penelitian ini sebelum dilakukan perancangan alat, terlebih dahulu dilakukan perhitungan SIL (*safety integrity level*) dan RPN (*risk priority number*) untuk menentukan kategori komponen kritis pada komponen mesin *tunnel kiln*, serta dilakukan analisis dengan metode RCM yang didalamnya juga terdiri dari 2 tahapan analisis yang penting yaitu analisis metode FMEA dan analisis metode LTA untuk menganalisa keadaan dari komponen mesin *tunnel kiln* dan mendapatkan rekomendasi tindakan yang tepat. Berdasarkan hasil perhitungan SIL dan RPN terdapat 8 komponen mesin *tunnel kiln* yang termasuk dalam kategori komponen kritis dengan SIL 0 dan RPN > 61,78. Sedangkan dari hasil analisis RCM analisis didapatkan 2 komponen dengan rekomendasi tindakan C.D, 1 komponen dengan rekomendasi tindakan T.D, dan 5 komponen dengan rekomendasi tindakan F.F. Sedangkan hasil perancangan alat didapatkan kenaikan SIL rancangan alat yaitu SIL 1.

**Kata Kunci:** *mesin tunel kiln, komponen kritis, SIL, RPN, RCM*

### PENDAHULUAN

Mesin *tunnel kiln* merupakan salah satu mesin yang sering digunakan dalam proses pembakaran di beberapa industri khususnya industri keramik. Di industri untuk memenuhi permintaan pasar yang meningkat, beberapa mesin tunnel kiln digunakan secara kontinyu. Sehingga dikarenakan penggunaan tersebut menyebabkan seringkali terjadinya kerusakan pada mesin *tunnel kiln* itu sendiri. Selain itu, ketika terjadi kerusakan pada

beberapa mesin *tunnel kiln* bagian perawatan (*maintenance*) hanya melakukan perbaikan dan mengganti komponen yang mengalami kerusakan tanpa memperhatikan kehandalan dari mesin *tunnel kiln* tersebut.

Dari data kecelakaan akibat kerusakan dan kegagalan operasi mesin *tunnel kiln* diketahui dalam jangka waktu 3 tahun di PT.X terjadi 10 kecelakaan yang mengakibatkan kerugian bagi perusahaan serta mengancam keselamatan pekerja. Sedangkan berdasarkan UU Republik Indonesia No.1 Tahun 1970 tentang keselamatan kerja, dituliskan bahwa setiap tenaga kerja berhak mendapatkan perlindungan atas keselamatannya dalam melakukan pekerjaan, kesejahteraan hidup dan meningkatkan produksi serta produktifitas nasional.

Oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan perancangan alat yang dapat memonitoring keadaan komponen kritis dari mesin *tunnel kiln* secara *real time* agar dapat dilakukan tindakan perawatan (*maintenance*) yang tepat saat terjadi kerusakan, mengeliminasi kegiatan perawatan yang tidak diperlukan, meminimalisasi peluang kegagalan komponen secara mendadak serta dapat meningkatkan *reliability* komponen mesin *tunnel kiln*. Dimana sebelum dilakukan perancangan alat dilakukan analisis RCM dan perhitungan SIL untuk menentukan kategori keadaan komponen mesin *tunnel kiln* yang kemudian hasilnya digunakan pada penentuan jadwal *maintenance* serta perancangan alat.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif dan analisis kualitatif sebelum dilakukan perancangan alat. Metode analisis kuantitatif dengan tujuan rekomendasi perancangan alat dilakukan dengan penentuan tingkatan SIL komponen mesin *tunnel kiln* berdasarkan hasil perhitungan PFD serta dilakukan perhitungan RPN dengan tujuan rekomendasi jadwal perawatan (*maintenance*). Penentuan Tingkatan Sil dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1  
 Tingkatan SIL

<i>Safety Integrity Level (SIL)</i>	<i>Safety</i>	<i>Probability of Failure Demand</i>	<i>Risk Reduction Factor</i>
SIL 4	>99.99%	0.001% - 0.01%	100,000-10,000
SIL 3	99.9% - 99.99%	0.01% - 0.1%	10,000-1,000
SIL 2	99% - 99.9 %	0.1% - 1%	1,000-100
SIL 1	90% - 99%	1% - 10%	100-10

Sumber : IEC Standard 61508, Tahun 2010

Sedangkan metode analisis kualitatif dengan tujuan menentukan kategori komponen kritis dilakukan dengan analisis RCM. Berikut beberapa tahapan analisis RCM:

1. Menentukan subsistem dan komponen pada mesin tunnel kiln
2. Menjelaskan kegagalan fungsi komponen dari mesin *tunnel kiln*
3. Membuat alur fungsi masing-masing komponen yang ada pada mesin *tunnel kiln* dengan FFBD (*Functional Flow Block Diagram*) yang kemudian dapat dibentuk SWSB.
4. Menentukan modus kerusakan, penyebab kerusakan, dan dampak kerusakan yang ditimbulkan dengan menggunakan FMEA.
5. Menentukan prioritas jenis kerusakan berdasarkan nilai RPN.
6. Analisis kategori komponen yang ditentukan dengan LTA (*Logic Tree Analysis*) untuk melihat kategori kegagalan pada komponen mesin.
7. Rekomendasi tindakan perawatan (*action plan*).
8. Penentuan TMD (*Total Minimum Downtime*) dan penentuan interval perawatan yang optimum.
9. Analisis penurunan *downtime* dan peningkatan *availability*.

Setelah didapatkan komponen dengan kategori kritis hasil analisis kualitatif dan kuantitatif yaitu komponen buner mesin *tunnel kiln*, maka dilakukan perancangan alat terhadap komponen tersebut. Berikut tahapan perancangan alat:

1. Melakukan *re-design* dan konfigurasi sistem yang akan diterapkan pada *prototype* yang dibuat.
2. Menentukan jenis sensor yang akan digunakan. Pada penelitian ini digunakan beberapa sensor diantaranya *flow sensor*, sensor arus, sensor warna dan sensor tekanan.
3. Merencanakan peletakan sensor. Sensor diletakkan pada posisi dan arah yang efisien agar dapat melakukan pengukuran dengan akurat.
4. Pengkonfigurasi alat. Pada konfigurasi alat terdiri dari beberapa komponen yaitu *controller* (mikrokontroler), *actuator* (indikator digital), *plant* (*burner* mesin *tunnel kiln*) dan sensor.

Alat yang telah dirancang kemudian diintegrasikan dengan user interface yang dibuat. Pembuatan user interface dilakukan dengan bantuan *software* Visual C+++. Sedangkan uji coba alat yang sudah dirancang dilakukan dengan memvariasikan keadaan proses yang diukur yaitu proses dibawah set point dan proses diatas

set point. Kemudian dilakukan analisis perfromansi alat berdasarkan variasi uji proses serta membandingkan tingkatan SIL komponen kritis mesin *tunnel kiln* sebelum dan sesudah dilakukan re-design.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data kegagalan tahun 2014-2016 dikumpulkan dan dilakukan uji distrbusi untuk setiap komponen mesin *tunnel kiln*. Dimana dari hasil uji distribusi tersebut didapatkan masing-masing parameter yang digunakan untuk perhitungan MTTF dan MTTR. Berikut contoh data hasil uji distribusi komponen burner mesin *tunnel kiln*:

Tabel 2

COMPONENT	FAILURE MODE	DISTRIBUSI	PARAMETER	MTTF
Burner	Tidak berfungsinya selenoid valve	Normal	$\mu = 3196,28 \quad \sigma = 760,12$	3196,286
	Tidak berfungsinya gas shutoff valve	None	-	-
	Burner orifice tidak dapat berfungsi	Weibull 2	$\beta = 4,498 \quad \eta = 4952,97$	5519,850
	Flame detector tidak berfungsi	Weibull 2	$\beta = 4,452 \quad \eta = 5501,94$	5017,764
	Ignitor tidak nyala	Lognormal	$\mu = 9,354 \quad \sigma = 0,0058$	11545,105
	Bracket terlepas	Weibull 2	$\beta = 6,262 \quad \eta = 10432$	9700,703

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Sedangkan contoh hasil perhitungan MTTR komponen burner mesin *tunnel kiln* dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3

COMPONENT	FAILURE MODE	DISTRIBUSI	PARAMETER	MTTR
Burner	Tidak berfungsinya selenoid valve	Normal	$\mu = 9,7875 \quad \sigma = 0,3399$	9,788
	Tidak berfungsinya gas shutoff valve	Lognormal	$\mu = 18,8148 \quad \sigma = 0,0806$	
	Burner orifice tidak dapat berfungsi	Weibull 3	$\beta = 5,136 \quad \eta = 2,508 \quad \gamma = 7,314$	9,620
	Flame detector tidak berfungsi	Normal	$\mu = 10,2833 \quad \sigma = 0,343$	10,283
	Ignitor tidak nyala	Weibull 2	$\beta = 18,745 \quad \eta = 8,9301$	8,679
	Bracket terlepas	Normal	$\mu = 7,4333$	7,433

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Seperti pada table 2 dan 3 diketahui rata-rata jenis distribusi data TTF dan TTR adalah distribusi lognormal, weibull 2, Weibull 3 dan normal. Jenis distribusi data TTF dan TTR tersebut menggambarkan karakteristik kerusakan dan kehandalan dari komponen mesin tunnel kiln yang diwakili dengan parameter-parameter untuk setiap jenis distribusi. Berdasarkan hasil perhitungan MTTF burner seperti yang dapat dilihat pada tabel 2, diketahui bahwa nilai MTTF tertinggi terdapat pada komponen burner dengan mode kegagalan ignitor tidak menyala yaitu sebesar 11545,11 hour dalam rentang waktu 3 tahun dengan nilai MTTR sebesar 10,283 hour.

Setelah dilakukan perhitungan MTTF dan MTTR, maka dilakukan analisis FMEA dan LTA untuk memenuhi rangkaian analisis RCM. Berikut contoh hasil analisis FMEA dan perhitungan nilai RPN pada komponen burner mesin tunnel kiln:

Tabel 4

COMPONENT	FUNCTIONAL	FAILURE MODE	FAILURE CAUSE	FAILURE EFFECT	RPN VALUE			
					O	S	D	RPN
Gas Control Valve	Untuk membuka katup gas valve	Tidak berfungsinya selenoid valve	Terdapat karat pada blok solenoid valve	Tidak adanya suplai gas pada burner	3	7	6	126
			Menumpuknya udara kotor pada piston	Tidak maksimalnya proses pembakaran pada burner Memicu terjadinya ledakan	3	8	6	144

COMPONENT	FUNCTIONAL	FAILURE MODE	FAILURE CAUSE	FAILURE EFFECT	RPN VALUE			
					O	S	D	RPN
Burner Orifice	Mendeteksi laju aliran gas pada line burner	Burner orifice tidak dapat berfungsi	Terdapat partikel asing pada sela orifice	Tidak diketahuinya laju aliran pada line burner	3	6	7	126
Flame Detector	Untuk mendeteksi proses pembakaran	Flame detector tidak berfungsi	Pemasangan yang tidak tepat	Suhu didalam line burner tidak terkontrol	3	7	7	147

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Tabel 4 menunjukkan bahwa burner mesin tunnel kiln memiliki nilai RPN tinggi yaitu sebesar 147 atau dapat dikatakan bahwa burner mesin tunnel kiln dengan mode kegagalan tidak berfungsinya solenoid valve merupakan komponen dengan kategori paling kritis. Setelah didapatkan nilai RPN, Analisis LTA dilakukan untuk mengetahui dampak kegagalan yang terjadi. Berikut contoh hasil analisis LTA untuk komponen burner mesin tunnel kiln.

Tabel 5  
 Hasil Analisis LTA Komponen Burner Mesin Tunnel Kiln

NO	COMPONENT	FAILURE MODE	CRITICALLY ANALYSIS			
			EVIDENT	SAFETY	OUTAGE	CATEGORY
5	Gas Control Valve	Tidak berfungsinya solenoid valve	N	Y	-	A/D
6	Burner Orifice	Burner orifice tidak dapat berfungsi	N	Y	-	A/D
7	Flame Detector	Flame detector tidak berfungsi	N	Y	-	A/D

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Berdasarkan data pada tabel 5 diketahui bahwa rata-rata dampak dari kerusakan burner mesin tunnel kiln adalah tingkat keamanan dari mesin tunnel kiln menjadi rendah (safety problem atau mode A) dan memberi dampak untuk terjadinya failure hidden atau kegagalan yang tidak dapat dikethau (Hidden problem atau mode D). Sebelum ditentukan rekomendasi penjadwalan maintenance dari komponen mesin tunnel kiln, dilakukan analisis rekomendasi tindakan perawatan ketika terjadi kegagalan atau kerusakan. Berikut contoh hasil analisis rekomendasi perawatan terhadap komponen burner mesin tunnel kiln.

Tabel 6  
 Hasil Analisis Rekomendasi Perawatan Komponen Burner Mesin Tunnel Kiln

Component	Failure Mode	Failure Cause	Selection Guide							Selection Task
			1	2	3	4	5	6	7	
Gas Control Valve	Tidak berfungsinya solenoid valve	Terdapat karat pada blok solenoid valve Menumpuknya udara kotor pada piston	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	F.F
Burner Orifice	Burner orifice tidak dapat berfungsi	Terdapat partikel asing pada sela orifice	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	F.F
Flame Detector	Flame detector tidak berfungsi	Pemasangan yang tidak tepat	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	F.F

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa komponen burner mesin tunnel kiln memiliki rekomendasi tindakan perawatan F.F (finding failure) yang kemudian dalam penelitian ini direkomendasikan perancangan alat terhadap komponen burner mesin tunnel kiln. Sedangkan untuk rekomendasi penjadwalan maintenance dilakukan dengan penentuan TMD (total minimum downtime) dari setiap komponen mesin tunnel kiln.

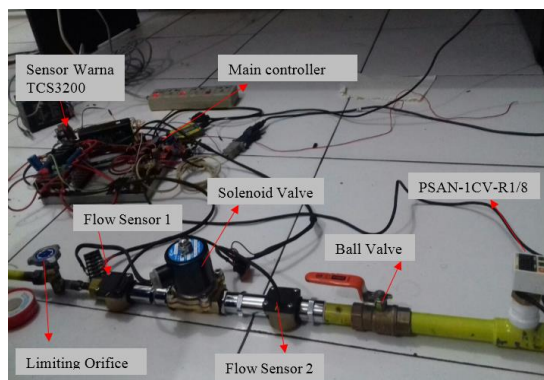
Berdasarkan parameter distribusi setiap komponen kritis ditentukan nilai TMD (*Total minimum Downtime*) sebagai penentu interval waktu *preventive maintenance* komponen kritis yang optimal dengan downtime yang paling kecil. Berdasarkan hasil perhitungan TMD pada masing-masing komponen salah satunya komponen burner mesin tunnel kiln, maka diperoleh interval waktu *preventive maintenance* untuk masing-masing komponen burner mesin tunnel kiln yang dapat dilihat pada tabel 8

Tabel 7  
 Interval Waktu Preventive Maintenance Komponen Burner Mesin Tunnel Kiln

No	Component	Interval Waktu Preventive Maintenance
1	Solenoid Valve	22 hari
2	Orifice	15 hari
3	Flame Detector	23 hari

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

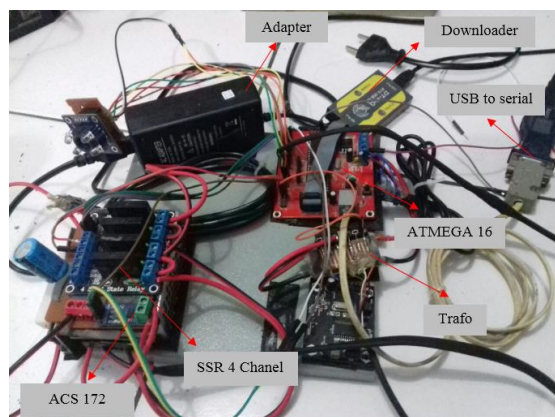
Setelah semua proses analisis dilakukan dan didapatkan bahwa komponen burner mesin tunnel kiln merupakan komponen dengan kategori paling kritis maka dilakukan perancangan alat. Tahapan pertama perancangan alat pada penelitian ini adalah melakukan re-desain komponen burner mesin tunnel kiln serta merancang sistem monitoring untuk mengetahui keadaan komponen secara real time. Berikut prototype burner mesin tunnel kiln yang dibuat:



**Gambar 1. Prototype Burner Mesin Tunnel Kiln**

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Sedangkan untuk main controller pengendali prototype burner mesin tunnel kiln dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini:



**Gambar 2. Main Controller Prototype Burner Mesin Tunnel Kiln**

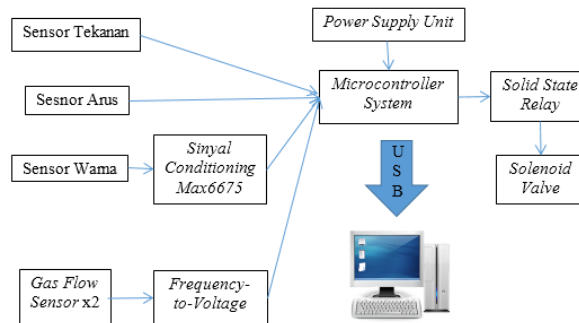
Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 2 *prototype* burner mesin *tunnel kiln* yang dibuat dilakukan penambahan sensor dan perubahan komponen diantaranya adalah pada perancangan *prototype* DPT berupa PSAN-1CPV-R1/8 yang memiliki fungsi sama dengan DPT yaitu mengukur tekanan fuel gas yang dialirkan, pada perancangan PSAN-1CPV-R1/8 diletakkan sebelum ball valve setelah regulator yang bertujuan untuk mengukur tekanan gas yang dialirkan pada pipeline burner.

Kemudian pada perancangan ini juga digunakan 2 flow sensor 1/2” yang diletakkan sebelum dan sesudah solenoid valve yang bertujuan untuk mengukur aliran gas pada pipeline burner serta untuk mengontrol bukaan

solenoid valve. Selain itu juga dilakukan penambahan sensor warna TCS3200 yang diletakkan didepan burner yang bertujuan untuk mengukur intensitas warna nyala api burner dan mengontrol bukaan limiting orifice.

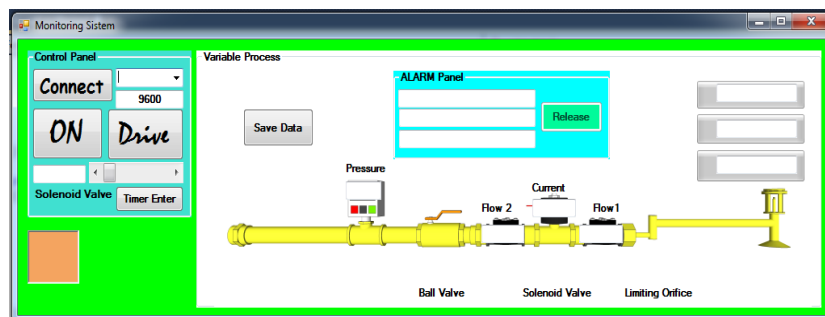
Sistem komunikasi data prototype burner mesin tunnel kiln dirancang sesuai konfigurasi sistem yang dapat dilihat pada gambar 3



**Gambar 3. Sistem Komunikasi Data Prototype Burner Mesin Tunnel Kiln**

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Prinsip kerja sistem monitoring yang dibuat berdasarkan konfigurasi sistem yang dapat dilihat pada gambar 3 adalah setiap sensor yang diletakkan pada setiap komponen burner melakukan pengukuran variabel proses yang nantinya hasil pengukuran akan dikirim menuju mikrokontroler yang sudah tersambung dengan PC/laptop, dimana dari laptop tersebut user dapat memonitoring keadaan komponen. Jika outputan proses dari komponen melebihi atau kurang dari set point yang sudah ditentukan maka hal tersebut mengindikasikan penyimpangan pada proses dan dapat dikatakan bahwa komponen tersebut mengalami penurunan kinerja. Selain itu pada sistem yang dibuat dapat dilakukan controlling yaitu ketika terjadi penyimpangan proses, user dapat memberikan perintah pada acuator (solenoid valve) untuk menyesuaikan bukaan agar outputan dari proses sesuai dengan set point. Berikut user interface dari system monitoring yang dibuat:



**Gambar 4. User Interface Sistem Monitoring Prototype Burner Mesin Tunnel Kiln**

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4 *user interface* dirancang agar dapat dilakukan monitoring terhadap keseluruhan sistem yang dibuat secara *real time*. Sistem monitoring dibuat berdasarkan set point yang sudah ditentukan, diantaranya:

1. *Flow sensor 1* dan *flow sensor 2* dengan *range* 0-60rpm, dimana untuk indikator hijau memiliki *range* 41-60rpm, indikator kuning memiliki *range* 21-40rpm dan indikator merah 0-20.
2. Sensor tekanan dengan *range* 35-55kpa
3. Sensor Warna dengan *range* 0-500pixel
4. Sensor Arus dengan *range* 0-13ampere, dimana untuk indikator hijau memiliki *range* 7-13ampere, indikator kuning memiliki *range* 4-6ampere dan indikator merah 0-3.

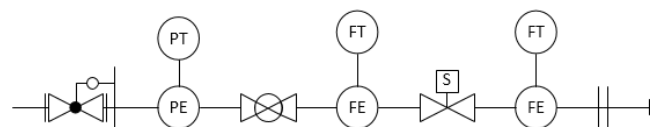
Sistem dijalankan berdasarkan set point yang sudah ditentukan diatas. Berikut hasil uji sistem *monitoring* secara keseluruhan:

Tabel 8  
 Hasil Uji Sistem Monitoring Prototype Burner Mesin Tunnel Kiln

Pressure Sensor	Flow Sensor 2	Flow Sensor 1	Sensor warna	Sensor Arus	Indikator			Buzzer	Pemberitahuan
					Solenoid Valve	Ball Valve	Limiting Orifice		
41.3	46	40	117	15.17	Green	Green	Green	Mati	Kosong
42.1	33	33	337	11.29	Yellow	Yellow	Yellow	Nyala	Periksa Kondisi Orifice; Periksa Kondisi Ball Valve; Periksa Kondisi Solenoid
41.8	44	39	0	13.14	Green	Green	Red	Nyala	Tidak Ada Nyala Api
42.5	32	31	301	11.47	Yellow	Yellow	Yellow	Nyala	Periksa Kondisi Orifice; Periksa Kondisi Ball Valve; Periksa Kondisi Solenoid
42.9	39	35	259	13.32	Yellow	Green	Green	Nyala	Periksa Kondisi Solenoid
44.1	25	29	376	11.66	Yellow	Red	Yellow	Nyala	Periksa Kondisi Orifice; Periksa Kondisi Solenoid; Lakukan Pergantian Ball Valve

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Analisis performansi prototype burner mesin tunnel kiln dilakukan dengan perhitungan SIL pada desain yang sudah dibuat. Berikut P&ID dari prototype burner mesin tunnel kiln yang sudah dilengkapi dengan komponen safety:



Gambar 5. P&ID Prototype Burner Mesin Tunnel Kiln

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Seperti pada gambar 5 dapat dilihat prototype burner tunnel kiln sudah dilengkapi dengan komponen safety yang terdiri dari sensing element (flow sensor, sensor imaging, dan sensor tekanan), controller (mikrokontroler) dan final element (solenoid valve). Perhitungan PFD dilakukan pada setiap komponen safety prototype burner mesin tunnel kiln dengan menggunakan data *failure rate* dari buku OREDA 2002 dikarenakan keterbatasan data *maintenance* komponen tersebut. Berikut hasil perhitungan SIL dari masing-masing komponen prototype burner mesin tunnel kiln:

Tabel 10  
 Hasil Perhitungan SIL Prototype Burner Mesin Tunnel Kiln

COMPONENT	MTTF	TI	$\lambda$	PFD	SIL
Ball Valve (1/2")	330000	8760	$3,03 \times 10^{-6}$	0.0000587	SIL 3
Pressure Sensor (PSAN-1CV-R1/8)	20000	8760	$5 \times 10^{-5}$	0.0159870	SIL 1
Flow Sensor (1/2")	20000	8760	$5 \times 10^{-5}$	0.0159870	SIL 1
Flow Sensor (1/2")	20000	8760	$5 \times 10^{-5}$	0.0159870	SIL 1
Flame Sensor (base image proses)	260000	8760	$3,846 \times 10^{-6}$	0.0000946	SIL 3
Limiting Orifice	280000	8760	$3,571 \times 10^{-6}$	0.0000816	SIL 3
Solenoid Valve	60000	8760	$1,67 \times 10^{-5}$	0.0017763	SIL 2
PFD Burner				0.0499722	SIL 1

Sumber: Data Penulis, Tahun 2018

Dari hasil perhitungan prototype burner mesin tunnel kiln yang dapat dilihat pada tabel 10 diketahui bahwa terjadi peningkatan SIL pada beberapa komponen, seperti pada komponen gas shut off valve yang pada penelitian ini digantikan dengan ball valve diketahui terjadi kenaikan dari SIL 0 menjadi SIL 3. Kemudian untuk solenoid valve pada desain burner sebelumnya memiliki SIL sedangkan pada prototype menjadi SIL 2. Sedangkan tingkatan SIL untuk sistem prototype burner mesin tunnel kiln yang dibuat mengalami kenaikan yaitu dari SIL 0 menjadi SIL 1.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah didapatkan beberapa komponen dalam kategori komponen kritis berdasarkan hasil analisis FMEA, perhitungan RPN, dan perhitungan PFD. Komponen dengan kategori komponen kritis yaitu komponen *solenoid valve* dengan nilai RPN 144 dan tingkat SIL 0, komponen *burner orifice* dengan nilai RPN 126 dan tingkat SIL 0, serta komponen *flame detector* dengan nilai RPN 147 dan tingkat SIL 0.

Penjadwalan *maintenance* berdasarkan hasil analisis LTA menunjukkan terdapat 2 komponen mesin *tunnel kiln* yang direkomendasikan dengan perawatan C.D (*Condition Directed*), 1 komponen mesin *tunnel kiln* yang direncanakan dengan perawatan T.D (*time Directed*) dan 5 komponen mesin *tunnel kiln* yang direncanakan dengan perawatan F.F (*Finding Failure*). Sedangkan untuk rekomendasi interval tindakan *preventive maintenance* komponen bearing motor roller, motor *combustion air blower*, bearing *combustion air blower*, solenoid valve, *burner orifice* dan *flame detector* masing-masing adalah sebesar 27 hari, 17 hari, 23 hari, 22 hari, 15 hari, dan 23 hari.

Perancangan *prototype* dilakukan terhadap komponen mesin *burner tunnel kiln* dengan menambahkan beberapa sensor yaitu 2 buah *flow sensor*, sensor tekanan (PSAN-1CV-R1/8), sensor arus ACS172, sensor warna TCS3200 yang kemudian dikontrol menggunakan mikrokontroler. Agar dapat dilakukan monitoring secara *real time* juga dilakukan perancangan *user interface* menggunakan visual C++++ untuk kemudahan pengguna. Hasil analisis SIL terhadap *prototype burner mesin tunnel kiln* yang dibuat didapatkan terjadi peningkatan SIL dari SIL 0 menjadi SIL 1.

## DAFTAR PUSTAKA

- Corder, A. (1992). *Tenik Mnajaeemen Pemeliharaan*. Jakarta: Erlangga.
- Dhillon, B. (2006). *Maintanability, Maintenance, and Rability for Engineers*. New York: LLC.
- F.S Nowlan, e. a. (1978). *Reability Centered Maintenance*. San Fransisco, California: United Airlines.
- Fil Sochrates, M. (2013). *Analisis Resiko Keselamatan Kerja dengan Metode HIRAC pada Alat Suspension Preheater Bagian Produksi Bagian Plant 6 dan 11 Field Cieuteurep PT Indocement Tunggal Prakasa*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- Frederick Stapelberg, R. (2009). *Handbook of Reability, Availabality, Maintainabiity, and Safety Engineering Design*. Queensland Australia: Griffith University.
- Gaspersz, V. (t.thn.). *Analisis Terapan Berdasarkan Pendekatan Teknik Industri*. Bandung: Tarsito.
- Gorvil, A. (1993). *Reability Engineering*. New Dehli: McGraw Hill Publishing.



- IAEA. (2008). Application of Reability Centered Maintenance to Optimize and Maintenance in Nuclear Power Points.
- Jardine, A. (2006). *Maintenance, Replacement and Reability*. New York: LLC.
- M.Gross, J. (2002). *Fundamentals of Preventive Maintenance*. United State of America: AMACOM.
- Madya, S. (2006). *Teori dan Praktk Penelitian Tindakan*. Bandung: Alfabetha.
- SINTEF Industrial Management. (2002). *OREDA (Offshore Reability Data) 4th Edition*. Norway: OREDA Participants.
- Suma'mur, P. (1998). *Hygine Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: Toko Gunung Agung.
- Undang-Undang RI No I Tahun 1970 mengenai Keselamatan Kerja. (t.thn.).
- Wiyatno, T. N., Amalia, P. R., & haryanti, D. (2017). Analisa Efisiensi Panas *Tunnel Kiln* Pada PT. XYZ dengan Neraca Massa dan Energi. *Jurnal Konversi*, Volume 6 No.2

(Halaman ini sengaja dikosongkan)