

## **Evaluasi *Distributed Control System* pada PLTU dengan *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA)**

**Saputra Dwi Nugroho**

PT. PLN (Persero) UPDL Suralaya, Indonesia

saputra.dn@pln.co.id

### **ABSTRACT**

*Steam power plants (PLTU) are power plants that have the largest percentage of power plants owned by PLN. The main controller in a PLTU usually uses a Distributed Control System (DCS). The reliability of DCS in a PLTU must be maintained properly so that the power plant does not experience a control failure that causes the PLTU to stop suddenly. DCS PLTU Sebalang Unit 1 has used the FMEA method to determine its maintenance strategy, but the FMEA has not defined the function of the equipment, functional failure, the effect of failure, and criticality analysis (CA) of the equipment. failure mode prioritization has not been carried out. With the FMECA conducted in this study, the priority of the failure mode can be carried out effectively so that the priority determination of DCS maintenance can be carried out. Results of the FMECA that have been carried out, it is known that the failure that occurs in the DCS CPU has the highest RPN value (140). The maintenance strategy obtained from the FMECA results is preventive maintenance (PM), namely: 1) checking the power supply voltage, 2) checking the communication status, idle time status, load and CPU status, and maintenance run to failure (RTF) CPU replacement if there is damage to the CPU. FCS CPUs.*

**Keywords:** *Steam power plant, DCS, FMEA, FMECA, CPU, RPN, Maintenance Proiritized*

### **ABSTRAK**

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) menjadi pembangkit listrik yang mempunyai prosentasi terbesar diantara pembangkit listrik yang dimiliki oleh PLN. Pengontrol utama dalam sebuah PLTU biasanya menggunakan *Distributed Control System* (DCS). Keandalan DCS di sebuah PLTU harus dijaga dengan baik agar pembangkit listrik tidak mengalami kegagalan kontrol sehingga menyebabkan PLTU stop secara tiba-tiba. DCS PLTU Sebalang Unit 1 sudah menggunakan metode FMEA untuk menentukan strategi pemeliharanya, namun FMEA tersebut belum mendefinisikan fungsi peralatan, kegagalan fungsi peralatan (*functional failure*), efek dari kegagalan (*failure effect*) dan analisa kritikalitas (*Criticaly Analysis* (CA)) peralatan, sehingga prioritas modus kegagalan belum dilakukan. Dengan FMECA yang dilakukan pada penelitian kali ini, prioritas modus kegagalan dapat dilakukan secara efektif sehingga penentuan prioritas pemeliharaan DCS dapat dilakukan. Hasil dari FMECA yang telah dilakukan, diketahui bahwa kegagalan yang terjadi pada CPU DCS memiliki nilai RPN tertinggi (140). Strategi pemeliharaan yang didapatkan dari hasil FMECA adalah pemeliharaan preventive (PM) yaitu : 1) pengecekan tegangan *power supply*, 2) pengecekan status komunikasi, status *idle time*, *load* dan *status* CPU serta pemeliharaan *run to failure* (RTF) penggantian CPU jika terdapat kerusakan pada CPU FCS.

**Kata kunci:** *PLTU, DCS, FMEA, FMECA, CPU, RPN, Prioritas Pemeliharaan*

## 1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menjadi pembangkit yang persentasenya paling besar (menghasilkan listrik) diantara jenis pembangkit lain yang dimiliki oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Sistem kerja PLTU menggunakan prinsip "pembakaran eksternal", yaitu "panas pembakaran" bahan bakar ditransfer menuju penggerak utama oleh "media kerja". Penggerak utama PLTU adalah turbin yang dijadikan satu poros dengan generator sehingga akan menghasilkan listrik jika turbin berputar.

Peralatan utama yang digunakan dalam PLTU antara lain boiler, turbin, generator, trafo, sistem pendingin, sistem kontrol dan lain-lain. Salah satu peralatan utama PLTU yaitu peralatan sistem kontrol berfungsi untuk mengontrol seluruh proses operasi yang ada di PLTU. Sistem peralatan kontrol terdiri dari *Controller*/Pengontrol (PLC/DCS), Sensor dan *Final Control Element* (Control Valve, Motor, Damper dll).

*Controller* atau pengontrol adalah komponen utama sistem kontrol yang berfungsi untuk menerima sinyal dari sensor untuk kemudian sinyal tersebut akan dinilai oleh pengontrol untuk memberikan perintah kepada *Final Control Element*, sehingga sistem akan beroperasi sesuai dengan yang diinginkan oleh operator melalui Set Point yang mereka masukan. Pengontrol utama dalam sebuah pembangkit biasanya menggunakan *Distributed Control System* (DCS) [1]. DCS adalah sistem kontrol terkomputerisasi, di mana elemen pengontrol dan pengukuran tidak berada di lokasi terpusat/sama tetapi didistribusikan ke seluruh proses atau pabrik yang berbeda lokasinya. DCS merupakan tulang punggung sistem kontrol industri *modern* saat ini [2].

PLTU Sebalang Lampung menggunakan DCS YOKOGAWA dalam melakukan pengontrolan unitnya. Identifikasi mode dan pemeringkatan kegagalan pada peralatan DCS sangat diperlukan sehingga risiko investasi dapat dikurangi [3]. Untuk menjaga keandalan dari DCS, PLTU Sebalang telah melakukan analisa *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) sehingga dari FMEA tersebut didapatkan *Maintenance Strategy* untuk pemeliharaan DCS-nya. FMEA adalah sebuah metode penilaian evaluasi dan memprediksi risiko kegagalan, sehingga dapat meminimalisasi kegagalan operasi [4][5] pembangkit yang disebabkan oleh DCS. FMEA dilakukan untuk peralatan yang mempunyai tingkat kritikalitas tinggi yang sangat berefek terhadap pengoperasian pembangkit [6]. FMEA PLTU Sebalang yang sudah ada, belum mendefinisikan fungsi peralatan, kegagalan fungsi peralatan (*functional failure*), efek dari kegagalan (*failure effect*) dan analisa kritikalitas (*Criticality Analysis* (CA)) untuk masing-masing modus kegagalan. *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA) dapat memberikan definisi terkait dengan fungsi peralatan, kegagalan peralatan (*functional failure*), modus kegagalan (*failure mode*), efek kegagalan (*failure effect*), penyebab kegagalan (*failure causes*) dan analisa kritikalitas pada setiap modus kegagalan. FMECA akan memberikan pendekatan untuk memprioritaskan modus kegagalan secara efektif [7], sehingga penentuan prioritas pemeliharaan DCS dapat dilakukan.

Penelitian kali ini akan melakukan penyempurnaan FMEA DCS PLTU Sebalang Unit 1 dan menambahkan *criticality analysis* menggunakan metode *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA).

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan yaitu mendefinisikan *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA) dari peralatan *Field Control Station* (FCS) DCS PLTU Sebalang Unit 1 dan dari hasil analisis tersebut dapat ditentukan jenis dan prioritas pemeliharaannya. Peralatan yang dilakukan FMECA dibatasi hanya pada modul *input output*, modul CPU, modul komunikasi dan modul *power supply* yang terdapat dalam *cubicle field control station* (FCS) DCS Unit 1.

## 2.1. FMECA

FMECA adalah pengembangan dari FMEA, terdiri dari analisis mode kegagalan dan efek (FMEA) dan analisis kekritisitas (*Criticaly Analysis (CA)*) [8]. *Criticaly analysis* dihitung menggunakan *risk priority number (RPN)*. RPN menilai suatu kegagalan dengan efek yang dihasilkan (*severity*), kemudian presentasi kegagalan (*occurance*) serta tingkat deteksinya (*detectability*) [9][10]. Langkah kerja dalam penyusunan FMECA adalah sebagai berikut [11] :

1. Menentukan fungsi dari peralatan.
2. Mengidentifikasi kegagalan fungsi dari peralatan tersebut (*Functional Failure*).
3. Mengidentifikasi modus kegagalan (*Failure Mode*).
4. Mengidentifikasi efek dari sebuah kegagalan (*Failure Effect*).
5. Mengidentifikasi Severity Class atau tingkat keparahan yang terjadi.
6. Mengidentifikasi probabilitas kemungkinan terjadinya kegagalan (*occurance*).
7. Menghitung *mean time between failure (MTBF)* yaitu rata-rata waktu kegagalan terjadi.
8. Mendeteksi penyebab kegagalan yaitu bagaimana mekanisme kemudahan/kesulitan mendeteksi penyebab kegagalan.

RPN dihitung menggunakan rumus :

$$RPN = S \times O \times D; \text{dimana : } S : \text{Severity}; O : \text{Occurance}; D : \text{Detectability}$$

Parameter penilaian dari *Severity*, *Occurance* dan *Detectability* adalah sebagai berikut [12] :

**Tabel 1.** Parameter *Severity*, *Occurance* dan *Detection*

Skor	<i>Occurrence(O)</i>	<i>Severity (S)</i>	<i>Detection (D)</i>
1	Hampir tidak pernah	Tidak ada efek	Hampir pasti
2	Sangat jarang	Sangat kecil/ minor	Sangat mudah
3	Cukup jarang	Kecil/ minor	Mudah
4	Sedikit jarang	Sangat rendah	Cukup mudah
5	Jarang	Rendah Biasa saja	Biasa saja
6	Sedikit sering	Sedang	Agak sulit
7	Cukup sering	Tinggi	Cukup sulit
8	Sering	Sangat tinggi	Sulit
9	Sangat Sering	Serius	Sangat sulit
10	Hampir selalu terjadi	Sangat berbahaya/ serius	Hampir tidak mungkin

## 2.2. Sistem DCS PLTU Sebalang Unit 1

Sistem DCS Unit 1 PLTU Sebalang terdiri dari beberapa peralatan *Field Control Station (FCS)* dan komputer kontrol. FCS terdiri FCS Turbin dan Boiler sebanyak 5 (lima) buah dan komputer kontrol unit 1 sebanyak 5 (lima) buah.

FCS berfungsi sebagai *cubicle* sistem kontrol yang berisi CPU, baterai dan modul-modul sinyal *input* dan *output* serta pengkabelan sinyal dan sumber tegangan. Komputer kontrol berfungsi

sebagai sarana pengontrolan yang dilakukan oleh operator (manusia) terhadap mesin di lapangan melalui DCS.

**Tabel 2.** Peralatan/*Equipment* DCS PLTU Sebalang Unit 1

No.	Deskripsai	Nomor KKS	MPI	Keterangan
1	SBLG TU 10 CUBICLE DAN FCS 101 BOILER MCS	181000TU10CBA10EA101	332	<i>Cubicle</i> dan FCS 101 Kontrol Boiler MCS
2	SBLG TU 10 CUBICLE DAN FCS 102 BOILER SCS	181000TU10CBA10EA102	166	<i>Cubicle</i> dan FCS 102 Kontrol Boiler SCS
3	SBLG TU 10 CUBICLE DAN FCS 103 BOILER FSSS	181000TU10CBA10EA103	166	<i>Cubicle</i> dan FCS 103 Kontrol Boiler FSSS
4	SBLG TU 10 CUBICLE DAN FCS 104 TURBINE MCS	181000TU10CBA10EA104	166	<i>Cubicle</i> dan FCS 104 Kontrol Turbine MCS
5	SBLG TU 10 CUBICLE DAN FCS 105 TURBINE SCS	181000TU10CBA10EA105	166	<i>Cubicle</i> dan FCS 105 Kontrol Turbin SCS
6	SBLG TU 10 HIS TURBIN E 159	181000TU10CBA10EM159	66	Komputer Turbine 159
7	SBLG TU 10 HIS TURBIN E 160	181000TU10CBA10EM160	66	Komputer Turbine 160
8	SBLG TU 10 HIS BOILER 161	181000TU10CBA10EM161	66	Komputer Boiler 161
9	SBLG TU 10 HIS BOILER 162	181000TU10CBA10EM162	66	Komputer Boiler 162
10	SBLG TU 10 HIS BOILER 163	181000TU10CBA10EM163	66	Komputer Boiler 163

Spesifikasi dan jumlah komponen dari masing-masing FCS adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.** Spesifikasi *Field Control Station* (FCS) DCS PLTU Sebalang Unit 1

NO	Spesifikasi <i>Hardware</i>	FCS 101	FCS 102	FCS 103	FCS 104	FCS 105
1	<i>Field Control Unit</i> (for VnetI/P) ; P/N : AFV10D-S41251	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah
2	220-240VAC <i>Input Power Supply Module</i> ; P/N : PW482-50	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah
3	<i>Analog Input Module</i> (FIO) ; P/N : AAI143-H50/K4A00	10 buah	8 buah	4 buah	9 buah	-
4	<i>Analog Output Module</i> (FIO) ; P/N : AAI543-H50/K4A00	2 buah	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah
5	<i>Analog Input Module</i> (FIO) ; P/N : AAT145-S00	4 buah	4 buah	1 buah	3 buah	1 buah
6	<i>Analog Input Module</i> (FIO) ; P/N : AAR145-S00	-	-	11 buah	-	10 buah
7	<i>Digital Input Module</i> (FIO) ; P/N : ADV151-P10/D5A00	8 buah	3 buah	1 buah	8 buah	6 buah
8	<i>Digital Input Module</i> (FIO) ; P/N : ADV151-E10/D5A00	1 buah	-	-	1 buah	-
9	<i>Digital Output Module</i> (FIO) ; P/N : ADV551-P10/D5A00	5 buah	3 buah	2 buah	5 buah	3 buah

---

10	<i>Communication Modul</i> P/N : ALR121-S	-	-	-	1 buah	-
11	<i>ESB Bus Coupler Modul</i> P/N : EC401-10	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah
12	<i>Battery Assy</i> ; P/N : S9129FA	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah

**2.3. FMEA PLTU Sebalang Unit 1**

Berikut adalah FMEA FCS DCS PLTU Sebalang yang digunakan sebagai dasar dalam penentuan pemeliharaan DCS saat ini :

**Tabel 4.** FMEA FCS DCS PLTU Sebalang Unit 1

No	KKS	KOMPONEN	FAILURE MODE	FAILURE CAUSE	FAILURE DEFENSE TASK (FDT)	PEMELIHARAAN	PIC	FREKUENSI
1.	181000TU10CB A10EA101 181000TU10CB A10EA102 181000TU10CB A10EA103 181000TU10CB A10EA104 181000TU10CB A10EA105	Modul Processor, I/O & Komunikasi	Modul error	Suhu ruangan panas karena gangguan AC	Pemeliharaan rutin AC	PM	Har Listrik	Bulanan
				Lingkungan kotor	Cleaning Ruangan	PM	Sekum	Harian
				Seal kabel tray kurang rapat	Penambahan shielding kabel pada rack DCS	IB	Har Instrumen	Tahunan
				Temperature antar slot modul panas karena fan rack kotor/mati	Cleaning Fan	PM	Har Instrumen	6 bulan
					Replacement/Spare fan	RTF	Har Instrumen	As Required
					Thermography	PdM	Har Instrumen	Bulanan
				Grounding jelek	Adjustment/pengencangan grounding	IB	Har Instrumen	Tahunan
				Life time	Replacement/Spare	PM	Har Instrumen	4 Tahun
				Modul CPU redundant eror	Pengecekan status modul CPU	PM	Har Instrumen	Mingguan
		PSU & PDC	Grounding kendor	Kabel Terminal Kendor	Adjustment/pengencangan terminal	IB	Har Instrumen	Tahunan
			Power Supply Fault	Kotor	Cleaning	IB	Har Instrumen	Tahunan
				Lifetime	Replacement	PM	Har Instrumen	5 Tahun
			Hilang tegangan/fault	Lifetime	Pengukuran tegangan	IB	Har Instrumen	IB
					Replacement/Spare	PM	Har Instrumen	5 Tahun

**3. HASIL PENELITIAN**

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, hasil dari pengembangan FMEA dengan menggunakan FMECA FCS DCS PLTU Sebalang Unit 1 sebagai berikut :

**Tabel 5.** FMECA Peralatan *Field Control Station* (FCS) PLTU Sebalang Unit 1

Tag	181000TU10CBA10EA101-105	FMEA Number	
Equipment	SBLG TU 10 CUBICLE DAN FCS 101-105 (BOILER MCS,SCS,FSSS & TURBINE MSC, SCS)	Prepared By	
Description (OEM/Model)	Yokogawa CentumVP	Date First Issue	
Equipment Critical	MPI Number : 1. 332 for FCS 101 Boiler MCS 2. 166 for FCS 102-105	Document Number	

Equipment Function	Functional Failure	Component	Potential Failure Mode(s)	Potential Failure Effect(s) of Failure	Potential Failure Cause(s) of Failure	Reliability Task	Respon.	Freq	RPN
Melakukan pengontrolan Boier MCS dan Turbine	FCS tidak dapat menerima dan mengirim sinyal digital	Modul Digital (ADV)	Modul Digital Hang	Parameter digital unit tidak terbaca/error	Sirkulasi udara panel FCS tidak baik sehingga panel panas	Cek fungsi blower panel FCS	InC	7D	28
					Kondisi lingkungan sekitar FCS Panas	Cek temperatur ruangan (25°C ± 2-3°C)	InC	7D	28
					Kondisi lingkungan sekitar FCS berdebu	Cleaning panel dan area sekitar panel	InC	7D	28
					Supply tegangan berlebih dalam beberapa saat	Pengecekan tegangan power supply	InC	14D	98
					life time peralatan	Penggantian modul Digital I/O	InC	AR	98
			kabel input sinyal modul kendur/lepas	Parameter digital unit tidak terbaca/error	Vibrasi area panel/cubicle	Pengencangan Kabel	InC	365D	28



					Ketidaksempurnaan dalam instalasi/pekerjaan pengkabelan	Pengencangan Kabel	InC	365D	70
			Fuse putus	Parameter digital unit tidak terbaca/error	life time/kualitas material	Pengecekan rutin fuse	InC	365D	98
		Modul Komunikasi (ESB & ARL)	Modul Komunikasi Hang	Parameter digital unit tidak terbaca/error	Kondisi lingkungan sekitar FCS Panas	Cek temperatur ruangan (25°C ± 2-3°C)	InC	7D	28
					Kondisi lingkungan sekitar FCS berdebu	Cleaning panel dan area sekitar panel	InC	7D	28
					Supply tegangan berlebih dalam beberapa saat	Pengecekan tegangan power supply	InC	14D	98
					life time peralatan	Penggantian modul Komunikasi	InC	AR	98
	FCS tidak dapat menerima dan mengirim sinyal Analog	Modul Analog (AAI, AAT, AAR)	Modul Analog Hang	Parameter Analog unit tidak terbaca/error atau tidak bisa mengirimkan sinyal analog ke peralatan	Sirkulasi udara panel FCS tidak baik sehingga panel panas	Cek fungsi blower panel FCS	InC	7D	28
					Kondisi lingkungan sekitar FCS Panas	Cek temperatur ruangan (25°C ± 2-3°C)	InC	7D	28

					Kondisi lingkungan sekitar FCS berdebu	Cleaning panel dan area sekitar panel	InC	7D	28
					Supply tegangan berlebih dalam beberapa saat	Pengecekan tegangan power supply	InC	14D	98
					life time peralatan	Penggantian modul Analog I/O	InC	AR	98
			kabel sinyal modul kendor/lepas	Parameter Analog unit tidak terbaca/error atau tidak bisa mengirimkan sinyal analog ke peralatan	Vibrasi area panel/cubicle	Pengencangan Kabel	InC	365D	56
					Ketidaksempurnaan dalam instalasi/pekerjaan pengkabelan	Pengencangan Kabel	InC	365D	70
		Modul Komunikasi (ESB & ARL)	Modul Komunikasi Hang	Parameter analog unit tidak terbaca/error	life time/kualitas material	Pengecekan rutin fuse	InC	365D	98
					Kondisi lingkungan sekitar FCS Panas	Cek temperatur ruangan (25°C ± 2-3°C)	InC	7D	28
					Kondisi lingkungan sekitar FCS berdebu	Cleaning panel dan area sekitar panel	InC	7D	28

					Supply tegangan berlebih dalam beberapa saat	Pengecekan tegangan power supply	InC	14D	98
					life time peralatan	Penggantian modul Komunikasi	InC	AR	98
	FCS tidak dapat mengontrol	CPU (FCU AVF with Redundant)	CPU yang sedang beroperasi error dan tidak dapat otomatis berpindah ke CPU Standby	FCS Fail to control	Sirkulasi udara panel FCS tidak baik sehingga panel panas	Cek fungsi blower panel FCS	InC	7D	40
					Kondisi lingkungan sekitar FCS Panas	Cek temperatur ruangan (25°C ± 2-3°C)	InC	7D	40
					Kondisi lingkungan sekitar FCS berdebu	Cleaning panel dan area sekitar panel	InC	7D	40
					Supply tegangan berlebih dalam beberapa saat	Pengecekan tegangan power supply	InC	14D	140
					Life time CPU	Penggantian CPU	InC	AR	140
					Idle time CPU lebih dari 12 sec dan Load CPU diatas 20%	Pengecekan status idle time, load dan status CPU	InC	14D	40

					CPU stanby dalam kondisi error sehingga tidak dapat change over ke CPU stanby	Pengecekan status idle time, load dan status CPU	InC	14D	40
			Loose communication dari dan ke CPU	FCS Fail to control	Kabel komunikasi/Vnet kendor atau putus	Pengecekan status komunikasi DCS	InC	14D	120
		Power Supply (PW Series with Redundant)	Semua power supply rusak/error	FCS Fail to control	Sirkulasi udara panel FCS tidak baik sehingga panel panas	Cek fungsi blower panel FCS	InC	7D	40
					Kondisi lingkungan sekitar FCS Panas	Cek temperatur ruangan (25°C ± 2-3°C)	InC	7D	40
					Kondisi lingkungan sekitar FCS berdebu	Cleaning panel dan area sekitar panel	InC	7D	40
					Life time Power supply	Pengecekan tegangan power supply	InC	14D	140
			Power supply tidak dapat back up program ketika DCS kehilangan power	FCS Fail to control	Batere power supply habis ketika DCS kehilangan power	Penggantian battery power supply	InC	3Y	20

Dari hasil FMECA yang telah dilakukan pada FCS DCS PLTU Sebalang Unit 1, diketahui bahwa kegagalan yang terjadi pada CPU DCS memiliki nilai RPN tertinggi (140). Nilai RPN tertinggi berarti bahwa CPU DCS memiliki risiko terbesar terhadap pembangkit dibandingkan dengan komponen DCS lainnya. Metode FMEA saja tidak dapat memberikan nilai RPN sehingga masing-masing komponen DCS seolah-olah memiliki peran yang sama terhadap operasional pembangkit.

Hasil FMECA FCS memberikan strategi dan prioritas pemeliharaan DCS PLTU Sebalang Unit 1 sebagai berikut :

**Tabel 6.** Strategi dan Prioritas Pemeliharaan DCS PLTU Sebalang Unit 1

No.	Jenis Pemeliharaan	PIC	Frekuensi	RPN	Tipe Pemeliharaan
1	Pengecekan tegangan power supply	InC	14D	140	PM
2	Penggantian CPU	InC	AR	140	RTF
3	Pengecekan status komunikasi, status <i>idle time</i> , <i>load</i> dan <i>status</i> CPU	InC	14D	120	PM
4	Penggantian modul digital I/O	InC	AR	98	RTF
5	Pengecekan rutin fuse	InC	365D	98	OH
6	Penggantian modul Analog I/O	InC	AR	98	RTF
7	Penggantian modul komunikasi	InC	AR	98	RTF
8	Pengencangan terminasi kabel	InC	365D	70	OH
9	Cek fungsi blower panel FCS	InC	7D	40	PM
10	Cek temperatur ruangan ( $25^{\circ}\text{C} \pm 2-3^{\circ}\text{C}$ )	InC	7D	40	PM
11	Cleaning panel FCS dan area sekitar	InC	7D	40	PM
12	Penggantian <i>battery power supply</i>	InC	3Y	20	PM
Ket :					
1) D : Day/hari; Y : Year/tahun; AR : <i>As Required</i> (saat dibutuhkan)					
2) InC : Bag. Pemeliharaan <i>Instrument &amp; Control</i>					
3) PM : <i>Preventive</i> ; RTF : <i>Run to Failure</i> ; PdM : <i>Predictive</i> ; OH : <i>Overhaul</i>					

Dari tabel di atas, diketahui bahwa untuk nilai RPN tertinggi dapat dilakukan pemeliharaan preventive (PM) yaitu : 1) pengecekan tegangan *power supply*, 2) pengecekan status komunikasi, status *idle time*, *load* dan *status* CPU serta pemeliharaan *run to failure* (RTF) yaitu penggantian CPU jika terdapat kerusakan pada CPU FCS.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah FMECA dapat memberikan nilai RPN sehingga prioritas pemeliharaan peralatan dapat dilakukan. Nilai RPN tertinggi yaitu 140 (seratus empat puluh) didapatkan pada komponen FCS yaitu pada CPU-nya. 3 (tiga) RPN tertinggi menghasilkan pemeliharaan *preventive* (PM) yaitu : 1) pengecekan tegangan *power supply* dan 2) pengecekan status komunikasi, status *idle time*, *load* dan *status* CPU serta pemeliharaan *run to failure* (RTF) yaitu penggantian CPU jika terdapat kerusakan pada CPU FCS.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT PLN (Persero) UIKSBS UPK Sebalang, UPDL Suralaya dan semua pihak yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian hingga terwujud.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. T. Yulianto, R. M. Isman, S. N. Ihsan, and H. G. Susanto, "Implementing Risk-Based Maintenance Strategies for Distributed Control System as Power Plant Asset Management," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1096, no. 1, p. 012108, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1096/1/012108.
- [2] S. Ali, "Cybersecurity management for distributed control system: systematic approach," *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, 2021, doi: 10.1007/s12652-020-02775-5.
- [3] S. Gallardo-Saavedra, L. Hernández-Callejo, and O. Duque-Pérez, "Quantitative failure rates and modes analysis in photovoltaic plants," *Energy*, vol. 183, pp. 825–836, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.06.185.
- [4] L. Wang, F. Yan, F. Wang, and Z. Li, "FMEA-CM based quantitative risk assessment for process industries—A case study of coal-to-methanol plant in China," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 149, pp. 299–311, May 2021, doi: 10.1016/j.psep.2020.10.052.
- [5] A. A. Zúñiga, A. Baleia, J. Fernandes, and P. J. da Costa Branco, "Classical failure modes and effects analysis in the context of smart grid cyber-physical systems," *Energies*, vol. 13, no. 5, pp. 1–26, 2020, doi: 10.3390/en13051215.
- [6] G. P. Putra and H. H. Purba, "Failure mode and effect analysis on power plant boiler," *J. Optim. Ind. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 1–5, Jun. 2018, doi: 10.22094/JOIE.2018.555547.1527.
- [7] L. Ciani, G. Guidi, and G. Patrizi, "A Critical Comparison of Alternative Risk Priority Numbers in Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 92398–92409, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2928120.
- [8] H. R. Feili, N. Akar, H. Lotfizadeh, M. Bairampour, and S. Nasiri, "Risk analysis of geothermal power plants using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique," *Energy Convers. Manag.*, vol. 72, pp. 69–76, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2012.10.027.
- [9] P. Rajput, M. Malvoni, N. M. Kumar, O. S. Sastry, and G. N. Tiwari, "Risk priority number for understanding the severity of photovoltaic failure modes and their impacts on performance degradation," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 16, 2019, doi: 10.1016/j.csite.2019.100563.
- [10] I. Rizkya, I. Siregar, K. Siregar, R. Matondang, and E. W. Henri, "Reliability Centered Maintenance to Determine Priority of Machine Damage Mode," *E3S Web Conf.*, vol. 125, no. 2019, pp. 3–6, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201912522005.
- [11] A. Gugaliya, S. Boral, and V. N. A. Naikan, "A hybrid decision making framework for modified failure mode effects and criticality analysis: A case study on process

- plant induction motors,” *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 36, no. 8, 2019, doi: 10.1108/IJQRM-08-2018-0213.
- [12] D. Stamatis, *Risk Management using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Milwaukee: The Global Voice of Quality, 2018.
- [13] K. Palanikumar, N. Sellapan, “Modified Prioritization Methodology for Risk Priority Number in Failure Mode and Effects Analysis,” *Int. J. Appl. Sci. Technol.*, 2013.