

FAILURE MODE ANALYSIS AND CRITICALITY ANALYSIS FOR DETERMINING THE HEALTH INDEX OF DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM EQUIPMENT IN PLTU

(Analisis *Failure Mode and Criticality Analysis* (FMECA) untuk Penentuan Indeks Kesehatan
Peralatan *Distributed Control System* (DCS) PLTU)

Saputra Dwi Nugroho^{1*}

ABSTRACT

A steam power plant (PLTU) is a power plant that uses coal fuel in its function to produce electrical energy. The main equipment of PLTU includes boilers, turbines, generators, distributed control systems (DCS), transformers and common systems. PLTU as a power plant must maintain its reliability to meet the demands of financial performance and technical performance. One of the main generating equipment at PLTU Lampung that must be maintained for reliability is the distributed control system (DCS) which is the main controller of the power plant. to maintain the reliability of DCS equipment, Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (FMECA) analysis was carried out, then the equipment health index was compiled so that the current condition of the PLTU Lampung Unit 2 DCS equipment was obtained. The equipment health index is very useful for determining preventive measures so that the DCS equipment does not experience a malfunction that caused PLTU Lampung Unit 2 to stop production. The research that has been carried out has obtained the health index of the DCS PLTU Lampung Unit 2 equipment of 98.35% with the health index value of the components below, namely FCS 106 = 95.3%, FCS 107 = 96.45%, FCS 108 = 100%, FCS 109 = 100% and FCS 110 = 100%.

Keyword: *Steam Power Plant, DCS, Reliability, FMECA, Asset Health Index*

PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan yang ada di Indonesia ditopang oleh banyak pembangkit listrik diantaranya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA),

¹ PT PLN (Persero), Jakarta, Indonesia

*Corresponding author:
saputra.dn@pln.co.id

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) dan lain sebagainya.

PLTU merupakan pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batubara dalam fungsinya untuk menghasilkan energi listrik. Sistem kerja PLTU adalah dengan memanaskan air yang ada di dalam boiler kemudian uap akan masuk ke turbin kemudian generator akan berputar sesuai dengan putaran turbin untuk menghasilkan listrik. Peralatan utama PLTU antara lain boiler, turbin, generator, *Distributed Control System* (DCS), trafo dan *common system*. Perusahaan pembangkit listrik secara ketat harus melakukan pengontrolan terhadap proses operasi dan pemeliharaan agar pembangkit dapat selalu memenuhi tuntutan kinerja keuangan dan kinerja teknis. Proses pengontrolan pembangkit biasanya dilakukan menggunakan *Distributed Control System* (DCS) maupun PLC (*Programmable Logic Control*).

Distributed Control System (DCS) merupakan sistem kontrol modern yang menjadi tulang punggung industri otomasi. *Distributed Control System* (DCS) merupakan sistem kontrol terkomputerisasi dimana antara parameter yang diukur dengan sistem kontrolnya tidak berada dalam satu area pabrik, akan tetapi terdistribusi ke seluruh area pabrik atau lokasi yang berbeda (Ali 2021). *Distributed Control System* (DCS) harus dijaga keandalannya agar pembangkit dapat memenuhi fungsinya untuk mencapai kinerja keuangan dan teknis. Keandalan peralatan pembangkit salah satunya dapat dindentikan dengan kesehatan peralatan. Salah satu strategi dalam menjaga peralatan DCS, diperlukan analisis *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA) yang kemudian dari akan dijadikan dasar dalam penyusunan indeks kesehatan peralatan sehingga kita dapat mengetahui kondisi peralatan terkini. Dengan mengetahui kondisi peralatan terkini, langkah-langkah pencegahan dapat dilakukan agar peralatan tidak mengalami kegagalan yang menyebabkan PLTU gagal berproduksi.

Penelitian yang dilakukan saat ini adalah menentukan indeks kesehatan peralatan menggunakan dasar *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA) pada peralatan DCS PLTU Lampung Unit 2 di Provinsi Lampung Indonesia.

METODE

Metodologi penelitian kali ini dimulai dari pengumpulan data histori pemeliharaan peralatan *Distributed Control System* (DCS) dari tahun 2018-2022 kemudian dilanjutkan

dengan penyusunan *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA) kemudian dilakukan penentuan indeks kesehatan peralatan *distributed control system* (DCS) dari hasil pemeliharaan yang dilakukan di peralatan tersebut.

***Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA)**

Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (FMECA) adalah pengembangan dari *failure mode and effect analysis* (FMEA) yang ditambahkan dengan analisis kekritisian (*Criticality Analysis* (CA)). *Criticality analysis* dihitung dengan mengalikan tingkat *severity*, *occurance* dan *detectability* (Feili et al. 2013; Rajput et al. 2019; Rizkya et al. 2019) atau biasa disebut dengan *Risk Priority Number* (RPN).

Penyusunan *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA) menggunakan langkah-langkah sebagai berikut (Gugaliya, Boral, and Naikan 2019) :

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 :

$$RPN = S \times O \times D \dots\dots\dots (1)$$

dimana : S : *Severity*; O : *Occurance*; D : *Detectability*

RPN akan membantu untuk menemukan risiko tertinggi sehingga dapat merekomendasikan tindakan pencegahan. Mode kegagalan diprioritaskan dengan memberikan peringkat berdasarkan nilai RPN dalam urutan menurun. Tindakan yang dilakukan untuk meminimalisir risiko dibagi menjadi 3 (tiga) kategori yaitu “menghilangkan modus kegagalan”, kemudian “meningkatkan deteksi kegagalan” dan “meminimalkan kerugian jika

terjadi kegagalan”(Filz et al. 2021) .

Indeks Kesehatan Peralatan

Ukuran kondisi aset dan dekatnya aset dengan akhir masa pakai sebagai akibat dari kerusakan disebut dengan kesehatan peralatan (GB DNO Groups 2017). Metode praktis untuk mengukur kesehatan dari sebuah aset yang kompleks adalah indeks kesehatan peralatan. Sebagian besar aset terdiri dari beberapa subsistem, setiap subsistem dapat dicirikan oleh berbagai mode degradasi dan kegagalan (Adolfo C.M, 2022; Adolfo C.M, et al. 2020). Indeks kesehatan peralatan dapat ditentukan berdasarkan dari parameter spesifik baik yang besar dan juga kecil. Hal ini memungkinkan terciptanya indikator dengan kompleksitas yang berbeda-beda (Bohatyrewicz, et.all, 2019).

Gabungan dari indeks kesehatan peralatan merupakan alat yang sangat berguna untuk mewakili kesehatan keseluruhan dari suatu sistem atau aset yang kompleks. Kriteria desain untuk menetapkan kondisi aset kedalam indeks kesehatan peralatan dan menghubungkannya dengan probabilitas kegagalan aset seperti ditunjukkan pada Tabel 1 (Thor Hjartarson and Shawn Otal 2006).

Tabel 1. Hubungan Kondisi Aset dengan Kegagalan

HI%	Kondisi	Probabilitas Kegagalan/ <i>Probability of Failure (PoF)</i>
85 - 100	Sangat baik	Rendah
70 - 85	Baik	Rendah tapi mulai mengalami kenaikan
50 - 70	Biasa	Meningkat pesat tapi lebih rendah dari Pof pada rata-rata umur
30 - 50	Buruk	Lebih tinggi dari Pof pada rata-rata umur dan terus meningkat
0 - 30	Sangat Buruk	Sangat tinggi, lebih dua kali pof pada rata-rata umur

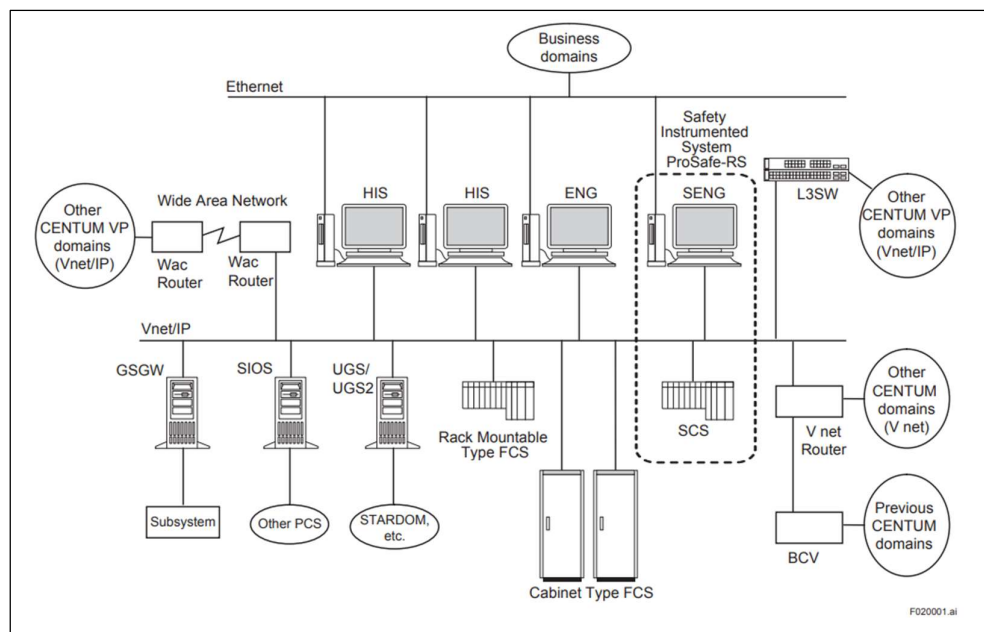
Distributed Control System (DCS) Yokogawa CentumVP

Sistem kontrol terdistribusi atau *Distributed Control System* (DCS) Yokogawa CentumVP digunakan untuk mengontrol dan mengelola sistem operasi pabrik diberbagai jenis industri seperti listrik, kimia, minyak dan gas, limbah, kertas, farmasi, besi dan baja, makanan dan lain sebagainya. CentumVP merupakan DCS Yokogawa yang menjadi komponen kunci

sebagai konsep “*Enterprise Technology Solution*” (Achour 2015).

Sistem kontrol pembangkit listrik yang menggunakan DCS Yokogawa CentumVP terdiri dari beberapa sub peralatan utama sebagai berikut :

- Field Control Station (FCS)* berfungsi sebagai pengontrol utama yang terdiri dari beberapa komponen.
- Human Interface Station (HIS)* berfungsi sebagai media interaksi antara manusia dan mesin.
- Engineering Station (ENG)* berfungsi untuk melakukan konfigurasi kontrol sistem CentumVP.
- Ethernet* berfungsi sebagai jalur komunikasi antar peralatan yang berhubungan dengan FCS.



Gambar 1. Konfigurasi DCS Yokogawa CentumVP (Yokogawa 2016)

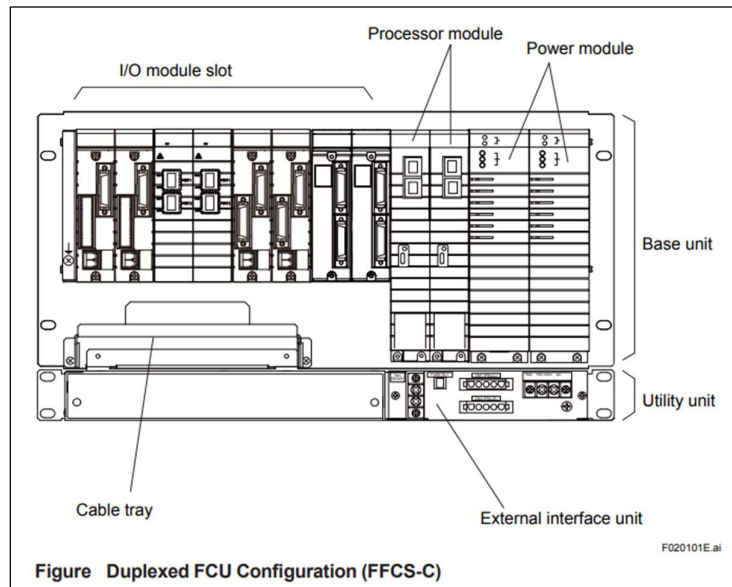
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan pada pembangkit PLTU Lampung Unit 2 kapasitas 100 MW yang terletak di Provinsi Lampung. *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (FMECA)* dilakukan pada *Field Control Station (FCS)* yang berfungsi sebagai pengontrol utama pada DCS. FMECA dilakukan pada FCS dikarenakan jika FCS DCS mengalami kegagalan maka

otomatis sistem DCS akan mengalami kegagalan juga. Spesifikasi *Field Control Station* (FCS) DCS PLTU Lampung Unit 2 sesuai dengan Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi dan Jumlah komponen FCS PLTU Lampung Unit 2

No	Komponen	FCS	FCS	FCS	FCS	FCS
		106	107	108	109	110
1	Module Prosesor;P/N : AFV10D-S41251	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah
2	220-240VAC Power Module;P/N : PW482-50	16 buah	24 buah	12 buah	24 buah	16 buah
3	ESB Bus Coupler Modul P/N : EC401-10	16 buah	24 buah	12 buah	24 buah	16 buah
4	Serial Communication Modul;P/N : ALR 121	Nol	2 buah	Nol	2 buah	Nol
5	Battery Assy ; P/N : S9129FA	16 buah	8 buah	4 buah	Nol	4 buah
6	Modul Digital Input (FIO);P/N : ADV151-P10/D5A00	6 buah	18 buah	Nol	30 buah	26 buah
7	Modul Digital Input (FIO);P/N : ADV151-E10/D5A00	Nol	Nol	18 buah	0 buah	Nol
8	Modul Digital Output (FIO);P/N : ADV551-P10/D5A00	8 buah	16 buah	10 buah	8 buah	16 buah
9	Modul Analog Input (FIO); P/N :AAI143-H50/K4A00	22 buah	38 buah	2 buah	38 buah	14 buah
10	Modul Analog Output (FIO);P/N : AAI543-H50/K4A00	12 buah	12 buah	Nol	4 buah	Nol
11	Modul Pulsa Input (FIO);P/N : AAP 135-S	Nol	2 buah	Nol	2 buah	Nol



Gambar 2. Konfigurasi *Field Control Station* (FCS) DCS Yokogawa (Yokogawa 2019)

FMECA yang telah disusun menghasilkan aktivitas pemeliharaan/aktivitas untuk menjaga keandalan peralatan (*Reliability Task*) dan nilai *Risk Priority Number* (RPN) sesuai dengan tabel 3.

Tabel 3. Hasil FMECA *Field Control Station* (FCS) DCS PLTU Lampung Unit 2

No	<i>Functional Failure</i>	<i>Potential Failure Mode(s)</i>	<i>Potential Failure Cause(s) of Failure</i>	<i>Reliability Task</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	<i>RPN</i>
1	FCS tidak dapat mengontrol/hang, dan tidak dapat menerima/mengirimkan sinyal I/O	1.Modul Prosesor yang sedang beroperasi error dan tidak dapat otomatis berpindah ke Modul Prosesor Standby 2. Semua atau beberapa power supply rusak/error 3. Modul digital/analog hang 4. Modul Komunikasi Hang	Supply tegangan berlebih/hilang power dalam beberapa saat	Pengukuran tegangan modul power (5 VDC dan 24 VDC) semua node dalam FCS	2	20	8	160
2	FCS tidak dapat menerima sinyal I/O	Modul I/O error atau kanal modul I/O rusak	life time peralatan	Function Test Modul Digital dan Analog	2	14	8	112
3	FCS tidak dapat menerima/mengirimkan sinyal digital	Fuse pada jalur sinyal digital pada modul digital I/O putus	life time/kualitas material	Pengecekan fuse rack pada jalur modul digital I/O	2	14	5	70

4	FCS tidak dapat mengontrol/hang, dan tidak dapat menerima/mengirimkan sinyal I/O	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modul Prosesor yang sedang beroperasi error dan tidak dapat otomatis berpindah ke Modul Prosesor Standby 2. Semua atau beberapa power supply rusak/error 3. Modul digital/analog hang 4. Modul Komunikasi Hang 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sirkulasi udara panel FCS tidak baik sehingga panel panas 2. Kondisi lingkungan sekitar FCS Panas 3. Short Circuit karena air 	Pengecekan blower cabinet FCS	2	14	2	40
5	FCS tidak dapat mengontrol/hang	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modul Prosesor yang sedang beroperasi error dan tidak dapat otomatis berpindah ke Modul Prosesor Standby 2. Loose communication dari dan ke Modul Prosesor 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Idle time Modul Prosesor < 20 detik 2. Modul Prosesor stanby dalam kondisi error sehingga tidak dapat change over ke Modul Prosesor stanby 3. Kabel komunikasi/Vnet kendor atau putus 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengecekan status idle time dan status Modul Prosesor 2. Pengecekan status komunikasi DCS 	2	20	2	40

FMECA yang didapatkan, kemudian dilanjutkan dengan membuat skema penentuan status kesehatan masing-masing komponen FCS sesuai dengan *reliability task* dalam FMECA sebagai berikut :

- a. Skema Penentuan Kesehatan Komponen *Modul Power* FCS dari hasil pengukuran tegangan.

Tabel 4. Skema Penentuan Status Kesehatan Komponen Modul Power FCS

Nama Komponen	Ukuran Indeks Kesehatan	Indeks Kesehatan Power Supply FCS
Modul Power 1 & 2	Pengukuran tegangan 5 VDC : - Tegangan 5VDC = 100%; - Tidak terbaca 5 VDC = 0% Pengukuran tegangan 24 VDC : - Tegangan 24 VDC = 100% - Tidak terbaca 24 VDC = 0%	Prosentase kesehatan modul power dihitung dari rata-rata kesehatan power supply dari keseluruhan node dalam FCS

- b. Skema Penentuan Kesehatan Modul Digital dan Analog dari hasil *Function Test Modul*

Tabel 5. Skema Penentuan Status Kesehatan Komponen Modul Input Output (I.O) FCS

FCS106-110 NODE 1 - NODE ke-n	Ukuran Indeks Kesehatan	Indeks Kesehatan Modul Input Output FCS
Modul I/O Analog dan Digital (AAI dan ADV)	$\frac{\text{kerusakan kanal modul I/O}}{\text{total kanal dalam modul I/O}} \times 100\%$	Prosentase kesehatan modul dihitung dari rata-rata kesehatan modul dalam FCS

- c. Skema Penentuan Kesehatan Fuse Modul Digital Input Output dari hasil Pengecekan fuse

Tabel 6. Skema Penentuan Status Kesehatan Fuse Modul Digital Input Output (I/O) FCS

FCS106-110 NODE 1 dan NODE ke-n	Ukuran Indeks Kesehatan	Indeks Kesehatan Fuse Modul Digital I/O
Modul I/O Digital *ADV	$\frac{\text{kerusakan fuse FCS}}{\text{total fuse FCS}} \times 100\%$	Prosentase kesehatan fuse modul digital dihitung dari rata-rata kesehatan fuse modul digital dalam FCS

- d. Skema Penentuan Status Kesehatan Blower Cabinet FCS dari pengecekan blower

Tabel 7. Skema Penentuan Status Kesehatan Blower Cabinet FCS

FCS106-110	Ukuran Indeks Kesehatan	Indeks Kesehatan Blower Cabinet FCS
Blower FCS	$\frac{\text{jumlah kerusakan blower dalam FCS}}{\text{total blower dalam FCS}} \times 100\%$	Prosentase kesehatan blower dalam masing-masing FCS

- e. Skema Penentuan Status Kesehatan FCU dari Pengecekan status, idle time dan komunikasi

Tabel 8. Skema Penentuan Status Kesehatan FCU dari *status, idle time* dan komunikasi

FCS106-110	Ukuran Indeks Kesehatan	Indeks Kesehatan Peralatan per FCS
Field Control Unit (FCU) 1 dan 2	Status Idle Time : 1. Idle Time > 20 detik = 100% 2. Idle Time < 20 detik = 75% Status OK = 100%, jk tidak = 0%	Prosentase kesehatan FCU dihitung dari rata-rata kesehatan FCU dalam FCS dari hasil

Status Komunikasi :	idle time, status OK dan komunikasi.
1. 2 komunikasi menyala : 100%	
2. 1 komunikasi menyala : 50%	
3. 2 komunikasi error : 0%	

Setelah menentukan skema kesehatan untuk masing-masing komponen dalam FCS, kemudian dilakukan perhitungan indeks kesehatan FCS berdasarkan pembobotan nilai RPN pada masing-masing aktivitas pemeliharaan (*reliability task*). Pembobotan seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan Indeks Kesehatan FCS

No	<i>Reliability Task</i>	RPN	Pembobotan (%)
1	Pengukuran tegangan modul power (5 VDC dan 24 VDC) semua node dalam FCS	160	37,9
2	Function Test Modul Digital dan Analog	112	26,54
3	Pengecekan fuse rack pada jalur modul digital I/O	70	16,59
4	Pengecekan blower cabinet FCS	40	9,48
5	1. Pengecekan status idle time dan status modul prosesor 2. Pengecekan status komunikasi DCS	40	9,48
Indeks Kesehatan FCS			100

Indeks kesehatan peralatan DCS PLTU Lampung unit 2 didapatkan dari nilai rata-rata indeks kesehatan FCS 106-110. Hasil pemeliharaan (*reliability task*) yang telah dilakukan pada DCS Unit 2 PLTU Lampung didapatkan seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pemeliharaan FCS DCS PLTU Lampung Unit 2

<i>Reliability Task</i>	Hasil Pemeliharaan (%)				
	FCS 106	FCS 107	FCS 108	FCS 109	FCS 110
Pengukuran tegangan power supply semua node dalam FCS	100	100	100	100	37,91

Function Test Modul secara	100	100	100	100	26,54
Pengecekan fuse rack	100	100	100	100	16,59
Pengecekan blower panel FCS	75	87,5	100	100	9,48
1. Pengecekan status idle time dan status CPU	75	75	100	100	9,48
2. Pengecekan status komunikasi DCS					

Dari hasil pemeliharaan tersebut di atas, maka masing-masing hasil pemeliharaan akan dikalikan dengan nilai bobot sesuai dengan RPN seperti pada tabel 9. Sehingga setelah dilakukan pengalihan hasil pemeliharaan dengan bobot RPN, didapatkan nilai indeks kesehatan peralatan DCS PLTU Lampung unit 2 sebagai berikut:

Tabel 11. Nilai Indeks Kesehatan Peralatan DCS PLTU Lampung Unit 2

No	Peralatan	Indeks Kesehatan	Keterangan
1	FCS 106	95,3	1. Idle time Modul Prosesor 16 detik atau < 20 detik 2. Kerusakan blower panel sebanyak 2 buah
2	FCS 107	96,5	1. Idle time Modul Prosesor 17 detik atau < 20 detik 2. Kerusakan blower panel sebanyak 1 buah
3	FCS 108	100	Bagus
4	FCS 109	100	Bagus
5	FCS 110	100	Bagus
6	DCS	98,35	Bagus

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan adalah

1. Nilai indeks kesehatan peralatan DCS PLTU Lampung Unit 2 adalah sebesar 98,35 %.
2. Nilai indeks kesehatan FCS 106 bernilai 95,3 % diakibatkan karena idle time modul

- prosesor 16 detik (dibawah < 20 detik) dan terjadi kerusakan blower panel sebanyak 2 buah.
3. Indek kesehatan FCS 107 sebesar 96,45 % diakibatkan idle time modul prosesor 17 detik (< 20 detik) dan terdapat kerusakan blower sebanyak 1 (satu) buah.

DAFTAR PUSTAKA

- Achour, Abdeldjalil. 2015. "Distributed Control System (DCS) An Application on Yokogawa CENTUM VP." <https://www.researchgate.net/publication/309807191>.
- Adolfo Crespo Márquez et al. 2020. "Defining Asset Health Indicators (AHI) to Support Complex Assets Maintenance and Replacement Strategies. A Generic Procedure to Assess Assets Deterioration." *Springer Nature Switzerland AG 2020*.
- . 2022. *Digital Maintenance Management*. Springer.
- Ali, Saqib. 2021. "Cybersecurity Management for Distributed Control System: Systematic Approach." *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*.
- Bohatyrewicz, Patryk, Janusz Płowucha, and Jan Subocz. 2019. "Condition Assessment of Power Transformers Based on Health Index Value." *Applied Sciences (Switzerland)* 9(22).
- Feili, Hamid Reza et al. 2013. "Risk Analysis of Geothermal Power Plants Using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Technique." *Energy Conversion and Management* 72: 69–76.
- Filz, Marc André, Jonas Ernst Bernhard Langner, Christoph Herrmann, and Sebastian Thiede. 2021. "Data-Driven Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to Enhance Maintenance Planning." *Computers in Industry* 129.
- GB DNO Groups. 2017. *DNO Common Network Asset Indices Methodology*. GB DNO Groups.
- Gugaliya, Agam, Soumava Boral, and V. N.A. Naikan. 2019. "A Hybrid Decision Making Framework for Modified Failure Mode Effects and Criticality Analysis: A Case Study on Process Plant Induction Motors." *International Journal of Quality and Reliability Management* 36(8).
- Rajput, Pramod et al. 2019. "Risk Priority Number for Understanding the Severity of Photovoltaic Failure Modes and Their Impacts on Performance Degradation." *Case Studies in Thermal Engineering* 16.

Rizkya, Indah et al. 2019. "Reliability Centered Maintenance to Determine Priority of Machine Damage Mode." *E3S Web of Conferences* 125(201 9): 3–6.

Thor Hjartarson, and Shawn Otal. 2006. "Predicting Future Asset Condition Based on Current Health Index and Maintenance Level." *IEEE*.

Yokogawa. 2016. "Integrated Production Control System CENTUM VP System Overview (General Overview)." In Yokogawa.

Yokogawa. 2019. "Integrated Production Control System CENTUM VP System Overview (FCS Overview)." In Yokogawa.