

Analisis Mitigasi Risiko Kegagalan Operasional Peralatan Melalui Pendekatan RCM Dan MVSM Dengan Perspektif FMECA (Studi Kasus : Unit Gas Turbine Compressor Centaur 50 Pada Offshore Platform Di PT. XYZ)

Bambang Sumantri^{1*}, Ahmad Yusuf Ismail², Syamsuri³

Magister Teknik Industri – Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

bamstri.zone@gmail.com¹, yusuf@itats.ac.id², syamsuri@itats.ac.id³

*Corresponding author

Abstrak

Peningkatan kebutuhan energi nasional membuat industri minyak dan gas menjaga keandalan peralatannya. Gas Turbine Compressor (GTC) Centaur 50 di PT. XYZ merupakan peralatan vital dalam operasi produksi, sehingga diperlukan metode tepat untuk menjaga keandalannya. Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) memiliki prioritas jenis perawatan yang tepat. Analisa keandalan menggunakan perhitungan kuantitatif dari data handbook OREDA (Offshore Reliability Data), manual book GTC Centaur 50, dan data aktual lapangan. Berdasarkan hasil analisa pendekatan Failure Mode Effect Criticality Analysis (FMECA) dan perhitungan Risk Priority Number (RPN) komponen utama penyebab kegagalan yang dibuat dalam diagram pareto, maka terdapat 20% kegagalan fungsi terbesar (27 kegagalan fungsi). Serta 26 kegagalan fungsi tambahan dari tim maintenance lapangan. Sistem perawatan GTC di PT. XYZ digolongkan dalam 14 sub-system, dimana sub-system tersebut kegiatan perawatannya minimal per 8000 jam berdasarkan RCM II Decision Worksheet yang meliputi 134 program perawatan (scheduled on condition monitoring, scheduled restoration, scheduled discard, failure finding, run to fail). Berdasarkan pendekatan Maintenance Value Stream Mapping (MVSM) dengan siklus plan-do-check-action (PDCA) pada siklus “do” terdapat Non Value Added pada “eksekusi pekerjaan”. Maka direkomendasikan mempersingkat waktu eksekusi pekerjaan maksimal 48 – 72 jam dengan utilisasi man power lapangan. Sehingga dengan durasi lebih pendek maka LPO (Loss Production Opportunity) dapat diminimalisir.

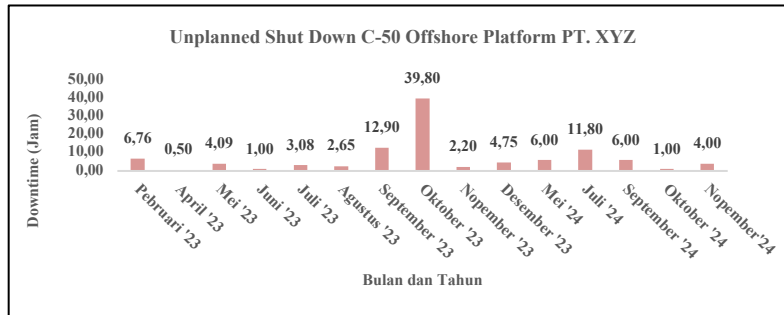
Kata Kunci : FMECA, Gas Turbine Compressor, LPO, MVSM, RCM

A. PENDAHULUAN

PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan migas yang beroperasi di laut jawa, dimana memiliki fasilitas produksi *offshore* (anjung lepas pantai) dan fasilitas produksi *onshore* (fasilitas produksi di darat). PT. XYZ dalam melaksanakan operasional produksinya memiliki risiko kegagalan operasional peralatan yang cukup besar. Gas Turbine Compressor (GTC) adalah peralatan produksi vital yang digunakan dalam perusahaan minyak dan gas (Brun & Kurz, 2019) termasuk PT. XYZ. GTC memiliki fungsi untuk meningkatkan tekanan gas bumi yang terproduksi di proses produksi menuju proses selanjutnya. Dalam hal ini GTC di PT. XYZ untuk mengirimkan gas bumi terproduksi yang sudah di proses di anjungan proses lepas pantai menuju ke ORF (*Onshore Receiving Facility*) melalui pipa bawah laut.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menentukan identifikasi risiko kegagalan operasional dari sistem Gas Turbine Compressor Centaur 50 pada komponen sistemnya, menentukan laju kegagalan komponen berdasarkan jangka waktu operasionalnya dan alur pemeliharaan dari unit Gas Turbine Compressor Centaur 50, menentukan klasifikasi pemeliharaan yang tepat berdasarkan profil risiko kegagalan operasional dari unit Gas Turbine Compressor Centaur 50.

PT. XYZ menerapkan strategi PM (*preventive maintenance*) GTC setiap 8000 jam sekali. Serta memiliki strategi *maintenance* lain untuk menyesuaikan risiko kehilangan produksi pada waktu tertentu dalam pencapaian target produksi, yaitu berupa pengunduran jadwal *maintenance* rutin 8000 jam tersebut sampai batas waktu yang ditentukan perusahaan. Hal ini tentunya memiliki potensi kegagalan risiko operasional GTC tersebut. GTC Centaur 50 di *offshore platform* PT. XYZ mengalami beberapa kali kejadian *unplanned shutdown* sepanjang tahun 2023 sampai 2024 sebanyak total 106.53 jam sebagaimana pada Gambar 1.



Gambar 1. *Unplanned Shutdown Event GTC C-50 (2023-2024)*

Dalam melakukan analisa risiko terdapat berbagai cara, salah satunya adalah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode *Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)*. FMECA merupakan pengembangan dari metode *FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)* yang berfungsi untuk membuat analisa mulai dari alat atau proses produksi, jenis defect sampai dengan pengaruh yang muncul akibat dari defect tersebut, serta menentukan titik kritis. Hasil dari analisa yang dilakukan menggunakan metode FMEA dengan perhitungan *RPN (Risk Priority Number)*. (Catelani et al., 2021).

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa suatu asset fisik terus dapat bekerja melakukan apa yang penggunanya ingin lakukan sesuai konteks pengoperasiannya saat ini (Moubray, 1997). Dimana strategi RCM pada penelitian ini adalah menggunakan RCM II *Decision Worksheet* yang dilakukan setelah dilakukan analisa dengan menggunakan FMECA.

Pelaksanaan strategi *maintenance* yang ditentukan dari proses RCM, kemudian dilanjutkan dengan *Maintenance Value Stream Mapping (MVSM)* dimana merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis dan meningkatkan proses pemeliharaan dengan memetakan aliran nilai dari aktivitas pemeliharaan. Metode ini membantu dalam mengidentifikasi pemborosan dan meningkatkan efisiensi dalam proses perawatan (Syafei dan Suhendar, 2022).

Integrasi metode RCM dan MVSM memungkinkan dilakukan analisa data yang lebih baik terkait pemeliharaan. Data yang diperoleh dari RCM dapat digunakan untuk melakukan pemetaan aliran dalam MVSM dan sebaliknya, dimana data dari MVSM dapat memberikan tambahan materi untuk analisis risiko dalam RCM (Saifuddin et al., 2023). Informasi yang didapatkan tentang keandalan dan kinerja mesin dapat membantu manajemen dalam merencanakan sumber daya. MVSM memberikan informasi yang diperlukan untuk menganalisis dan mengevaluasi proses pemeliharaan secara keseluruhan. Dengan memanfaatkan kekuatan masing-masing metode, perusahaan dapat meningkatkan keandalan mesin, mengurangi downtime, dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

B. LANDASAN TEORI

GTC merupakan salah satu peralatan produksi yang digunakan pada operasi produksi minyak dan gas bumi (migas) untuk menaikkan energi berupa tekanan gas bumi yang telah diproduksi dan diproses lebih lanjut di anjungan proses. GTC tersusun atas turbin gas dan kompresor sentrifugal, dimana turbin gas merupakan penggerak (*prime mover*) untuk menggerakkan kompresor sentrifugal (*driven*). Pada penelitian ini yang menjadi obyek adalah turbin gas dengan tipe *engine* jenis *Centaur 50* yang dapat menghasilkan daya sampai dengan 6130 hp / 4570 kW (*Centaur 50 Compressor Set*, 1985) yang berada di anjungan lepas pantai PT. XYZ.

Turbin gas merupakan jenis mesin kalor yang merupakan sebuah alat konversi energi yang berfungsi merubah energi panas dari bahan bakar menjadi energi mekanik dengan menggunakan prinsip siklus *Brayton*. Turbin gas menarik udara luar kedalam mesin, kemudian memberikan tekanan (*compression*) pada udara dan dilanjutkan menyalurkan udara ke ruang bakar (*combustion chamber*) dengan kecepatan tinggi. Proses pembakaran pada ruang bakar menghasilkan aliran gas bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi yang masuk kedalam mesin turbin gas (*expansion*). Pada saat gas panas hasil pembakaran meluas didalam turbin (*expansion*), maka menyebabkan *rotating blades* menjadi

berputar. Dimana *rotating blades* berfungsi untuk menghisap udara bertekanan ke ruang bakar dan memutar kompresor. Sedangkan panas yang tersisa dibuang melalui *exhaust system* (Brun & Kurz, 2019).

FMECA merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini dalam melakukan identifikasi dan penilaian terhadap risiko yang merupakan pengembangan metode FMEA. FMEA mengidentifikasi mode kegagalan dan penyebab mode kegagalan, kemudian didetailkan dengan menghitung nilai RPN dari suatu mode kegagalan dibandingkan dengan nilai RPN dari mode kegagalan yang lainnya. Kemudian dibuat peringkat risiko dari nilai RPN tertinggi sampai ke nilai RPN terendah. Cara untuk menghitung nilai RPN dari setiap mode kegagalan adalah sebagai berikut, dimana kriteria penilaian tersebut sesuai dengan *risk matrix* yang digunakan di PT. XYZ (Pedoman Pengelolaan Risiko HSSE, 2021).

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

,dimana: RPN : *Risk Priority Number* (nilai prioritas risiko), S : *Severity* (tingkat keparahan)
 O : *Occurrence* (kemungkinan terjadi), D : *Detection* (kemampuan deteksi)

Diagram pareto digunakan dalam penelitian ini untuk mengurutkan klasifikasi data menurut kaidah ranking tertinggi sampai dengan terendah berdasarkan nilai RPN. Tujuan pembuatan diagram pareto dalam penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan membuat prioritas penyebab masalah yang paling signifikan dalam suatu proses dari nilai RPN. Prinsip Pareto dikenal sebagai aturan 80/20, menyatakan bahwa 80% dari masalah biasanya disebabkan oleh 20% dari penyebab utama.

Maintenance adalah kegiatan untuk memastikan suatu aset fisik terus melakukan apa yang penggunanya inginkan agar aset tersebut lakukan. Kemudian mengarah ke definisi lanjutannya yaitu *Reliability Centered Maintenance*, yaitu sebuah proses analitik yang digunakan untuk menetapkan strategi manajemen kegagalan yang tepat untuk menjamin operasi yang aman serta biaya yang efektif dari suatu aset fisik pada suatu kondisi operasi. Ada empat komponen besar penyusun RCM yaitu *preventive maintenance* (PM), *reactive maintenance*, *predictive testing* dan *inspection, proactive maintenance*. (Moubray, 1997)

Reliability / keandalan adalah kemampuan suatu peralatan dalam melaksanakan fungsinya sesuai yang diinginkan oleh penggunanya. Dimana *reliability* dirumuskan sebagai berikut :

$$R = \frac{\text{Total Waktu Periode} - \text{Unplanned Downtime}}{\text{Total Waktu Periode}} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

,dimana R : *Reliability* terhadap waktu (Pedoman Tata Kerja Tentang Pemeliharaan Fasilitas Produksi Minyak Dan Gas Bumi, 2018)

Availability / ketersediaan adalah menggambarkan ketersediaan peralatan dalam menjalankan fungsinya terhadap waktu operasional yang ada. Dimana *availability* dirumuskan sebagai berikut :

$$A = \frac{\text{Uptime}}{\text{Total Operating Time}} = \frac{\text{Uptime}}{\text{Uptime} + \text{Downtime}} \dots \dots \dots (3)$$

,dimana A : *Availability*, Uptime : Waktu sistem beroperasi, Downtime : Waktu sistem tidak beroperasi

Mean Time to Failure (MTTF) merupakan pengukuran rata-rata waktu suatu peralatan sampai mengalami kegagalan. Dimana MTTF dirumuskan sebagai berikut :

$$MTTF = \frac{\text{Uptime}}{\Sigma \text{Kegagalan}} \dots \dots \dots (4)$$

Failure Rate merupakan laju kegagalan dari suatu komponen yang merupakan parameter untuk dapat mengetahui nilai *reliability* pada suatu peralatan. Dimana *Failure Rate* dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Failur Rate } (\lambda) = \frac{1}{MTTF} \dots \dots \dots (5)$$

MVSM merupakan metode yang melibatkan pengukuran efisiensi pemeliharaan melalui perhitungan *non value added* dan *value added*. Didalam MVSM semua sistem informasi dan aliran material yang dibutuhkan dalam pemeliharaan dapat di visualisasikan, serta memberikan gambaran yang jelas (Agro dan Makassar, 2023). Langkah – langkah yang diterapkan didalam MVSM adalah

current state map yang merupakan peta kondisi alur pemeliharaan saat ini, kemudian penentuan *value added* dan *non value added*, melakukan perancangan/usulan tindakan perbaikan terhadap *value added*, kemudian diakhiri dengan pembuatan *future state map* untuk menggambarkan bagaimana proses perawatan yang diharapkan akan berjalan setelah diterapkan perbaikan yang direkomendasikan .

Pada penelitian terdahulu (Dhaneswara & Achmadi, 2022) yang melakukan analisa komponen kritis pada GTC dan menerapkan RCM, tetapi menggunakan OREDA dalam menentukan komponen kritis. Dimana OREDA merupakan *handbook* berisi kumpulan data reliability peralatan di *offshore* dan *onshore*. Kemudian perlu adanya pengembangan terhadap data terkait reliability nya, yaitu menggunakan *manual book*, *alarm log* yang berkaitan unit GTC yang diteliti, dan OREDA *handbook*. Pada penelitian yang lain meneliti penerapan RCM pada *gas engine compressor* (Noor et al., 2021), dimana pada pengembangan penelitian selanjutnya bisa menggunakan FMECA atau FMEA dalam identifikasi dan menentukan prioritas tingkat kegagalan komponen sistem di *gas engine compressor*.

C. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif dan berdasarkan data sekunder dari *manual book* unit GTC *Centaur 50*, *alarm log* kejadian *unplanned shutdown* unit GTC *Centaur 50*, dan OREDA *Handbook*. Serta penelitian kualitatif berdasarkan *expertise* dari tim *field operation dan technical maintenance* di PT. XYZ. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan studi kasus terhadap operasional dan perawatan GTC *Centaur 50* yang ada di lapangan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah RCM (*Reliability Centered Maintenance*) dan MVSM (*Maintenance Value Stream Mapping*) dengan perspektif FMECA (*Failure Mode Effect and Criticality Analysis*).

Setelah melakukan pengumpulan data lapangan, maka dilakukan pengolahan data berupa identifikasi risiko kegagalan operasional menggunakan perspektif FMECA. Analisa FMECA dilakukan dengan cara identifikasi fungsi, kegagalan fungsi, mode kegagalan, efek kegagalan, tingkat keparahan, dan frekuensi kejadian. Kemudian dilakukan perhitungan RPN (*Risk Priority Number*) untuk menemukan peringkat risiko kegagalan. Langkah selanjutnya adalah membuat diagram pareto peringkat risiko dari nilai RPN yang didapatkan dari FMECA.

RCM II *Decision Worksheet* merupakan langkah selanjutnya setelah melakukan analisa FMECA. Dimana pada RCM II *Decision Worksheet* ini menentukan jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) untuk dapat mengatasi mode kegagalan (*failure modes*) dari setiap *function/sub-system*. Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan RAM dari unit GTC *Centaur 50* untuk mengetahui kinerja keandalan, ketersediaan, dan kemampuan perawatan dari unit GTC *Centaur 50*.

Selanjutnya adalah melakukan analisa menggunakan MVSM, dimana membuat *current value stream mapping* untuk mengetahui kondisi perawatan saat ini dan menentukan *non value added time*. Kemudian dibuat *future value stream mapping* sebagai langkah usulan perbaikan yang diusulkan ke perusahaan untuk memperbaiki *non value added time* supaya menjadi *value added time*.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

FMECA

Penyusunan identifikasi risiko menggunakan FMECA pada penelitian ini dilakukan berdasarkan data *sub-system*, *manual book Gas Turbine Compressor Centaur 50* dan hasil diskusi dengan tim lapangan (*front line maintenance dan technical maintenance*) sebagai berikut :

1. *Sub-system* untuk memenuhi standar kinerja yang diharapkan sesuai dengan tujuan operasional.
2. Mode kegagalan (*failure mode*) untuk identifikasi penyebab kegagalan yang terjadi.
3. Kegagalan fungsi (*functional failure*) merupakan keadaan *sub-system* tidak mampu memenuhi standar kinerja yang diharapkan sesuai dengan tujuan operasional.
4. Efek kegagalan (*failure effect*) merupakan identifikasi efek atau dampak yang diakibatkan oleh kegagalan *sub-system*.

Tabel 1. Hasil Analisa FMECA Gas Turbine Compressor Centaur 50

Sub-System	Failure Mode	Functional Failure	Failure Cause	Failure Effect
Start System	[FRO] Fail to Rotate	Pneumatic starter motor gagal memberikan gaya / torsi pada putaran (RPM) yang diinginkan	Pneumatic starter motor tidak berputar	
	[BRD] Breakdown	Starter pneumatic air valve gagal membuka/menutup primary shutoff aliran bahan bakar yang masuk dalam ruang bakar	Starter pneumatic air valve tidak bergerak	Menyebabkan start up gas turbine compressor tertunda / tidak dapat dilakukan
	[INL] Internal Leakage	Kebocoran valve melalui valve yang tertutup	Starter pneumatic air valve tidak bergerak	
	[FTS] Fail to Start on Demand	Pneumatic starter motor gagal memberikan gaya / torsi pada putaran (RPM) yang diinginkan	Pneumatic starter motor rusak karena akumulasi partikel kotoran	
	[NOI] Noise	Terjadi kebisingan tingkat tinggi selama proses startup berlangsung saat fase start sequence karena starter exhaust silencer rusak	Starter exhaust silencer mengalami kerusakan	Tidak menyebabkan gangguan pada proses startup dan gangguan produksi

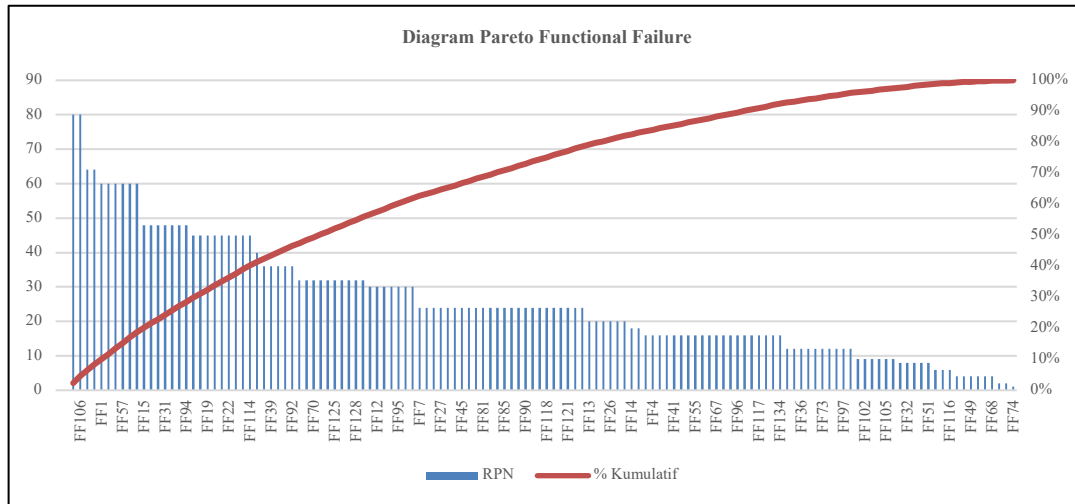
RCM II Decision Worksheet

Penilaian *failure consequence* (*hidden failure mode, safety, environment, operation*), serta nilai RPN (*severity, occurrence, dan detection*) didapatkan berdasarkan kriteria penilaian yang menyesuaikan dengan *consequency risk matrix* yang digunakan oleh perusahaan (PT. XYZ).

Tabel 2. Penilaian Failure Consequence dan SOD

Kode Failure Mode	Failure Mode	Kode Functional Failure	Functional Failure	Failure Consequence				S	O	D	RPN
				H	S	E	O				
1.1.1	[FRO] Fail to Rotate	FF1	Pneumatic starter motor gagal memberikan gaya / torsi pada putaran (RPM) yang diinginkan	Y	N	N	Y	3	4	5	60
1.2.1	[LOO] Low Output	FF2		Y	N	N	Y	3	4	5	60
1.3.1	[BRD] Breakdown	FF3	Starter pneumatic air valve gagal membuka/menutup primary shutoff aliran bahan bakar yang masuk dalam ruang bakar	Y	N	N	Y	2	2	4	16
1.4.1	[INL] Internal Leakage	FF4	Kebocoran valve melalui valve yang tertutup	N	Y	N	Y	2	2	4	16
1.5.1	[FTS] Fail to Start on Demand	FF5	Inlet gas strainer tidak bisa terlewati gas untuk keperluan start, karena penuh dengan partikel kotoran	Y	N	N	Y	3	3	5	45

Setelah melakukan penentuan *failure consequences* dan penilaian RPN, kemudian dibuat diagram pareto. Selain dari 20% masalah terbesar yang dijadikan prioritas untuk diberikan rekomendasi usulan *maintenance task*, juga ditambahkan beberapa komponen lain yang ditambahkan berdasarkan hasil diskusi dengan tim *front line maintenance (FLM)*, dikarenakan pengalaman operasional terhadap kerusakan komponen – komponen tersebut.



Gambar 2. Diagram Pareto Peringkat Risiko *Functional Failure*

Tabel 3. Komponen dengan risiko terbesar penyebab kegagalan operasi (Diagram Pareto)

No	Sub-System	Kode Failure Mode	Failure Mode	Kode Function Failure	Function Failure	Failure Cause	Failure Effect	RPN
1	Fuel System	2.11.2	[UST] Spurious Stop	FF29	Electric gas fuel flow control valve (EGF) gagal memberikan pasokan fuel yang mencukupi sesuai kecepatan gas turbine engine	Electric gas fuel flow control valve (EGF) tidak beroperasi	Gas turbine compressor berhenti mendadak karena fuel yang dibutuhkan tidak sesuai kecepatan engine yang diinginkan	80
2	Yard System	10.1.1	[FTO] Fail to Open on Demand	FF106	Limit switch suction valve gagal membuka dan menutup pada operasi yang diperlukan	Gas produksi tidak dapat melewati atau diisolasi oleh suction valve	Gas turbine compressor gagal start	80
3	Air System	12.5.1	[PLU] Plugged / Choked / Blocked	FF122	Air filter system gagal memberikan pasokan aliran udara bersih kedalam turbine compressor	Kerusakan pada engine compressor akibat partikel pengotor dari udara yang masuk.	Penurunan daya yang dihasilkan oleh gas turbine engine dibandingkan kapasitas standar	64

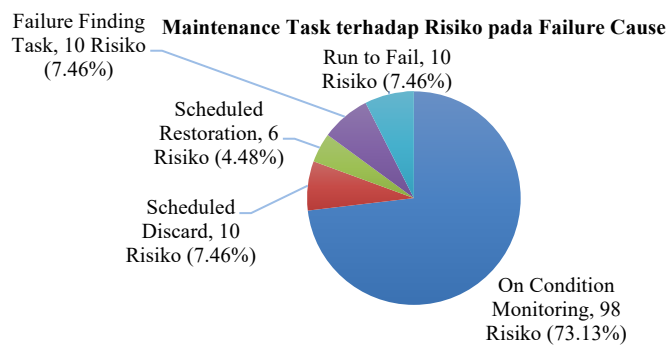
Tabel 4. Komponen dengan risiko terbesar penyebab kegagalan operasi (usulan Tim FLM)

No	Sub-System	Kode Failure Mode	Failure Mode	Kode Function Failure	Function Failure	Failure Cause	Failure Effect	RPN
1	Vibration System	13.2.1	[PDE] Parameter Deviation, Exceeding Accuracy	FF125	Vibration probes gagal mengirimkan sinyal yang akurat ke vibration monitor	Terjadi getaran sampai tingkat diatas 5 mil pp (gas turbine engine) yang tidak tepat terdeteksi oleh Gas Producer Vibration Probes	Kehilangan perlindungan dari safety devices dan kerusakan unit	32
2	Vibration System	13.2.2	[PDE] Parameter Deviation, Exceeding Accuracy	FF126	Vibration probes gagal mengirimkan sinyal yang akurat ke vibration monitor	Terjadi getaran sampai tingkat diatas 5 mil pp (gas turbine engine) yang tidak tepat terdeteksi oleh Power Turbine Vibration Probes	Kehilangan perlindungan dari safety devices dan kerusakan unit	32
3	Vibration System	13.2.3	[PDE] Parameter Deviation, Exceeding Accuracy	FF127	Vibration probes gagal mengirimkan sinyal yang akurat ke vibration monitor	Terjadi getaran sampai tingkat diatas 5 mil pp (gas turbine engine) yang tidak tepat terdeteksi oleh Accessories Drive Vibration Probes	Kehilangan perlindungan dari safety devices dan kerusakan unit	32

Berdasarkan analisa pada Tabel 3 dan Tabel 4 diatas dapat dilihat bahwa *Fuel System* memiliki *functional failure* terbesar, yaitu 37.0370% (Tabel 3) dan 26.9231% (Tabel 4). Sehingga dapat terlihat bahwa *fuel system* memiliki risiko kegagalan fungsi terbesar yang disebabkan oleh kerusakan komponen didalam *fuel system* diakibatkan oleh kualitas *fuel gas* yang sering tidak bagus. Sedangkan Tabel 5 dan Gambar 3 dibawah merupakan klasifikasi *maintenance task* berdasarkan *RCM II Decision Worksheet* dari masing – masing Risiko (R) / *Failure Finding (FF)*.

Tabel 5. Klasifikasi *maintenance task* berdasarkan *RCM II Decision Worksheet*

<i>Decision Logic</i>	<i>Failure Cause</i>
<i>On Condition Monitoring</i>	R1, R10, R14, R15, R16, R21, R22, R24, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32, R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44, R45, R51, R53, R54, R55, R57, R58, R59, R60, R66, R68, R69, R70, R71, R72, R73, R78, R79, R80, R81, R82, R83, R84, R85, R86, R87, R88, R89, R90, R91, R92, R93, R94, R95, R96, R97, R98, R99, R100, R101, R102, R103, R104, R105, R106, R107, R108, R109, R110, R111, R112, R113, R114, R115, R116, R117, R118, R119, R120, R121, R122, R123, R124, R125, R126, R127, R128, R129, R130, R131, R132, R133, R134
<i>Scheduled Discard</i>	R2, R3, R4, R7, R8, R9, R47, R48, R65, R76
<i>Scheduled Restoration</i>	R5, R6, R61, R62, R63, R64
<i>Failure Finding Task</i>	R11, R12, R13, R17, R18, R19, R20, R23, R24, R56
<i>Run to Fail</i>	R46, R47, R48, R49, R50, R52, R67, R74, R75, R77



Gambar 3. *Maintenance Task* terhadap Risiko pada *Failure Cause*

Hasil perhitungan *RAM analysis GTC Centaur 50* selama 2 tahun (2023 – 2024) didapatkan nilai hasil perhitungan sebagaimana Tabel 6 dibawah.

Tabel 6. Hasil perhitungan *RAM* dari *shutdown event* unit *GTC Centaur 50* (2023 – 2024)

Uptime	2 Tahun	17520 Jam
Downtime	Unplanned	106.53 Jam
Downtime	Planned + Unplanned	418.53 Jam
Availability	Planned + Unplanned	97.67 %
MTTF	565.1613 Jam	
Failure Rate	0.001769 per Jam	
Reliability	99.3920 %	

Tabel 7. *Unplanned Shut Down Event GTC Centaur 50* (2023 – 2024)

Tahun	Bulan	Downtime (Jam)	Kerusakan
2023	Pebruari	6.76	HPC Discharge Primary Flow HH
			HPC Discharge Primary Seal Flow High
	April	0.50	RT 380 HH (lube oil header temperature High high) (>156 F)
	Mei	4.09	RT 380 HH (lube oil header temperature High high) (>156 F) Low Suction
	Juni	1.00	UPS can't back up power due to CPP2 loss power
	Juli	3.08	UPS can't back up power due to CPP2 loss power

		Seal Gas Pump Fail to Run
		24 VDC (trip breaker at UPS)
Agustus	2.65	UPS can't back up power due to CPP2 loss power
		Seal Gas Pump Fail to Run
September	12.90	Lube oil temperature HH
		Lube oil cooler fan motor can't start
		Blackout Main Power System
Oktober	39.80	Fuel Gas Control Valve can't working properly
		RTH380 HH (Lube Oil Header Temp HH :170)
		HPC Discharge secondary seal calculated flow High
Nopember	2.20	HPC Discharge secondary seal calculated flow High
		HPC Discharge secondary seal calculated flow High
Desember	4.75	HPC Discharge Primary Seal Vent Pressure value and HPC Forward and After X-Y Radial Vibration --> (2 failure)
Mei	6.00	UPS can't back up power due to CPP2 loss power
		Main gas fuel valve position failure
Juli	11.80	HPC Aft axis Radial Vibration High
		HPC Fwd axis Radial Vibration High
		Seal Gas Booster Pump Stuck Close
2024		
September	6.00	Lube oil cooler vibration high (replace lube oil cooler fan bearing and motor bearing) --> (2 failure)
Oktober	1.00	HPC Discharge secondary seal calculated flow High
Nopember	4.00	High Vibration
		Dry Seal Pump Fail

$$Availability = \frac{17520 \text{ Jam}}{(17520 \text{ Jam} + 418.53 \text{ Jam})} \times 100\% = 97.67\%$$

$$MTTF \text{ (Mean Time To Failure)} = \frac{17520}{31} = 565.1613 \text{ Jam}$$

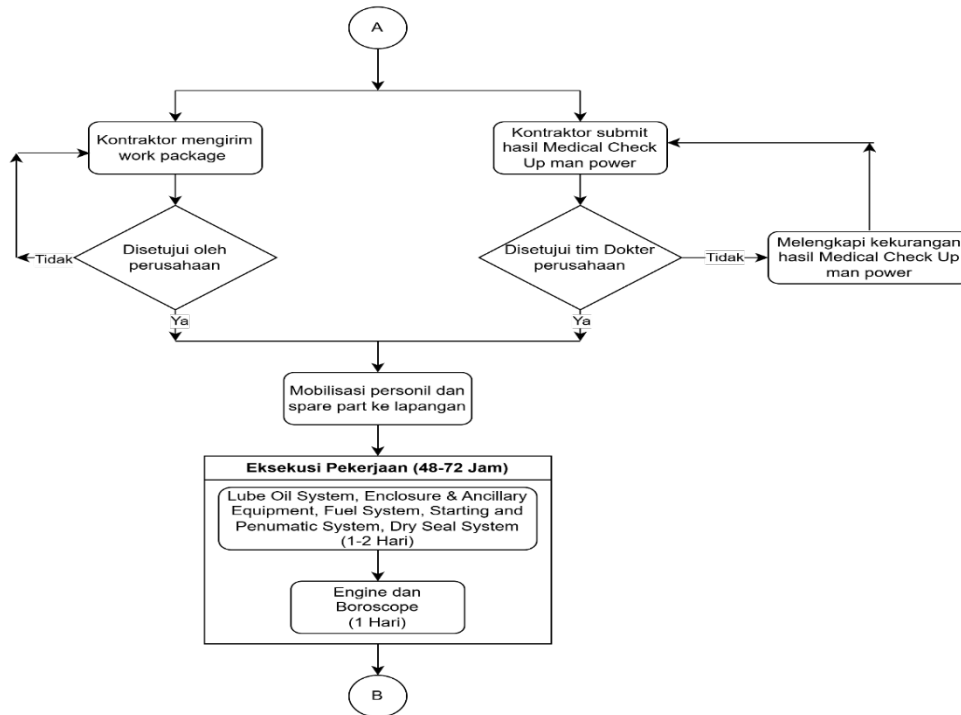
,dimana Σ kegagalan (31 kali) didapatkan dari Tabel 7 diatas

$$Failure \text{ Rate } (\lambda) = \frac{1}{565.161} = 0.001769 \text{ per Jam}$$

$$Reliability \text{ (R)} = \frac{17520 - 106.63}{17520} \times 100\% = 99.3920\%$$

MVSM (Maintenance Value Stream Mapping)

Dalam melakukan perawatan terhadap *GTC Centaur 50*, PT. XYZ memiliki *current value stream mapping* yang dibagi menjadi 4 bagian, yaitu *plan*, *do*, *check*, dan *action*. Dari *current stream mapping* pada siklus PDCA yang tidak dapat diklasifikasikan urutan kegiatannya kedalam *Non Value Added* adalah pada *plan*, *check*, dan *action*. Terutama pada siklus *plan* terikat pada aturan regulator (SKK MIGAS). Sedangkan pada siklus *check* dan *action* sudah dirancang alur yang sederhana oleh perusahaan. Berdasarkan diskusi di lapangan, pada siklus “do” diusulkan ke perusahaan dapat dipersingkat waktu eksekusinya. Berikut Gambar 4 dibawah ini merupakan *future value stream mapping* pada siklus “do” yang telah dipersingkat waktu eksekusinya.



Gambar 4. *Future Value Stream Mapping* (siklus Do)

Pada bagian eksekusi pekerjaan sebagaimana Gambar 4 diatas, diusulkan ke perusahaan untuk dapat dipersingkat waktu eksekusinya dari 144 jam menjadi maksimal 48 – 72 jam dengan strategi utilisasi man power lapangan (*front line maintenance* dan *production*) untuk mengerjakan bagian yang tidak membutuhkan keahlian khusus. Mengingat standard pekerjaan PM 8000 Jam oleh kontraktor hanya di sediakan 1 tim terdiri dari 1 orang FSR (Field Service Representative) dan 4 orang Teknisi (Mekanik, Elektrik dan Instrumentasi). Dengan durasi pekerjaan yang lebih pendek maka *LPO* (*Loss Production Opportunity*) juga akan bisa diminimalisir.

Sebagaimana diskusi di lapangan, maka detail pekerjaan yang bisa dikerjakan oleh tim FLM dan *production* adalah penggantian *air inlet filter* di *enclosure system*, penggantian *lube oil* pada *engine*, penggantian *fuel filter*, penggantian dan pengecekan kondisi *seal gas conditioning unit* (diluar *skid gas turbine compressor*), pembersihan *seal gas system* (didalam *skid GTC C50*), pengecekan *lube oil cooler* dan *gas after cooler* (termasuk motor).

E. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada hasil pengolahan dan analisis data, maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Identifikasi risiko kegagalan pada sistem unit *Gas Turbine Compressor Centaur 50* pada PT. XYZ dilakukan dengan diskusi bersama tim *front line maintenance* dan *technical maintenance*. Serta melakukan *document review* dari *manual book* untuk mengetahui bagian komponen yang akan diidentifikasi dan dipilih untuk komponen kritisnya berdasarkan metode penelitian yang digunakan. Berdasarkan hasil identifikasi menggunakan perspektif FMECA dengan 14 sub-system, maka diperoleh sejumlah total 134 *functional failure* yang menyertai *failure mode* pada sub sistem unit *Gas Turbine Compressor Centaur 50*. Pembagian kedalam 14 sub-system tersebut menyesuaikan kondisi di lapangan, dengan detail antara lain *start system*, *fuel system*, *controller and electrical control system*, *lube oil system*, *fire and gas suppression system*, *enclosure system*, *turbine engine*, *gas compressor*, *buffer air and seal gas system*, *yard system*, *gas and lube oil cooler*, *air system*, *vibration system*, *electric motor*.
2. Hasil perhitungan laju kegagalan, menunjukkan bahwa nilai *availability* dari *gas turbine compressor centaur 50* adalah 97.67% dengan nilai MTTF yaitu 565.1613 jam, dan *reliability* adalah 99.3920%.
3. Dari hasil pareto terdapat 20% risiko terbesar sebanyak 27 *functional failure* dan 26 *functional failure* tambahan yang merupakan usulan dari tim *front line maintenance*. Kedua risiko terbesar

functional failure tersebut yang menjadi prioritas utama rekomendasi ketika PM 8000 Jam dengan *maintenance task* yang ditentukan menggunakan *RCM II Decision Worksheet*. *Fuel System* memiliki *functional failure* terbesar (37.0370%) dari 20% daftar risiko terbesar pada diagram pareto dan 26.9231% dari usulan tim *front line maintenance*. Dengan menggunakan *RCM II Decision Worksheet* diperoleh 4 jenis *maintenance task* yaitu *On Condition Monitoring* terhadap 98 risiko (73.13%), *Scheduled Discard* terhadap 10 risiko (7.46%), *Scheduled Restoration* terhadap 6 risiko (4.48%), *Failure Finding Task* terhadap 10 risiko (7.46%), *Run To Fail* terhadap 10 risiko (7.46%). Dengan pendekatan MVSM, dari *current stream mapping* pada siklus PDCA yang tidak dapat diklasifikasikan urutan kegiatannya kedalam *Non Value Added* adalah pada *plan*, *check*, dan *action*. Pada siklus *plan* terikat pada aturan regulator (SKK MIGAS), sedangkan pada siklus *check* dan *action* sudah dirancang alur yang sederhana oleh perusahaan. Pada siklus *do* terdapat *Non Value Added*, yaitu pada bagian “eksekusi pekerjaan”. Dimana pada bagian eksekusi pekerjaan awalnya adalah 144 Jam, kemudian direkomendasikan dipersingkat menjadi maksimal 48 – 72 jam dengan utilisasi *man power* lapangan (*front line maintenance* dan *production*).

4. Pada penelitian selanjutnya disarankan dalam penentuan interval perawatan menggunakan metode *fuzzy logic* dan *neural network* berdasarkan data operasional harian dan data kegagalan aktual komponen penyusun *gas turbine compressor centaur 50* yang ada di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agro, T. I., & Makassar, P. A. T. I. (2023). *Identifikasi Perawatan Mesin Pemberi Pakan Dengan Metode Maintenance Value Stream Mapping (Mvsm) Pada Perusahaan Pakan Ternak*. 121–126.
- Brun, K., & Kurz, R. (2019). *Introduction to Gas Turbine Theory*. <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20190529-6e8f4-e408f>
- Catelani, M., Ciani, L., Galar, D., Guidi, G., Matucci, S., & Patrizi, G. (2021). FMECA Assessment for Railway Safety-Critical Systems Investigating a New Risk Threshold Method. *IEEE Access*, 9, 86243–86253. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3088948>
- Centaur 50 Compressor Set*. (1985). SOLAR Turbines.
- Dhaneswara, A. P., & Achmadi, F. (2022). Analisa Komponen Kritis Dan Penerapan Reliability Centered Maintenance II (RCM II) (Studi Kasus: Gas Turbine Compressor (GTC) Pada Fasilitas Eksplorasi Dan Produksi Lepas Pantai PT. X). *Prosiding SENASTITAN (Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan)*, 2(Rcm Ii), 540–546. <https://ejournal.itats.ac.id/senastitan/article/view/2445/2142>
- Pedoman Pengelolaan Equipment Priority Rating, Pub. L. No. A4- 007/PHE23000/2023-S9 (2023).
- Pedoman Pengelolaan Risiko HSSE, Pub. L. No. A8-005/PHE04000/2021-S9, 55 (2021).
- Pedoman Tata Kerja Tentang Pemeliharaan Fasilitas Produksi Minyak Dan Gas Bumi, Pub. L. No. PTK-041/SKKMA000/2018/S0 (2018).
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered Maintenance* (D. Novita (Ed.); 2nd ed.). PT. Relogica Indonesia.
- Noor, D. Z., Al Alam, M. F., -, M., Sarsetiyanto, J., & Subiyanto, H. (2021). Perencanaan Sistem Pemeliharaan menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Gas Engine Compressor PT. Perda Daya Gas. *Jurnal Nasional Aplikasi Mekatronika, Otomasi Dan Robot Industri (AMORI)*, 2(1). <https://doi.org/10.12962/j27213560.v2i1.9126>
- Saifuddin, J. A., Nugraha, I., & Winursito, Y. C. (2023). *Machine Maintenance in the Sabroe Line Using Reliability Centered Maintenance (RCM) and Maintenance Value Stream Mapping (MVSM) Methods*. 2023, 212–217. <https://doi.org/10.11594/nstp.2023.3630>
- Syafei, M. I., & Suhendar, E. (2022). Analisis Perawatan Mesin dengan Pendekatan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Maintenance Value Stream Map (MVSM) (Studi Kasus di PT. Nusa Indah Jaya Utama). *Integrasi : Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 7(2), 67. <https://doi.org/10.32502/js.v7i2.4783>
- Turbines, S. (2004). *Maintenance Instructions (Refurbished Centaur® 50 Gas Turbine-Driven Compressor Set)* (PT. Indoturbine (Ed.); Volume II). PT. Indoturbine.