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)

Auladan Prayoga Dhaneswara[1],Fuad Achmadi[2].
Magister Teknik Industri[1], Fakultas Teknologi Industri[2], Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
e-mail: auladanprayoga@gmail.com

ABSTRACT
The increase of energy demand makes the oil and gas industry trigger its production and reliability. Gas turbine compressor (GTC) is one of the vital equipment in oil and gas production operations. Due to the vitality of GTC operations, an improvement method is needed to optimize its reliability and determine the right operating pattern using Reliability Centered Maintenance (RCM) II method. Based on the results of the analysis and calculation of the main definitive critical components that cause failure from the gas turbine side, respectively are the piping system, ventilation fan, control unit, intrument pressure, valves, instrument temperature, instrument speed and filter. Meanwhile, from the centrifugal compressor side, respectively are the instrument temperature, antisurge system, and control unit. In the field realization, the GTC maintenance system is classified into 7 main subsystems, including start system, fuel system, electrical and control system, lube oil system, turbine engine system, HPC compressor system, and seal system . Maintenance management is designed for all of these subsystems, including scheduled restoration tasks, scheduled discarded tasks, and scheduled on condition tasks at maintenance intervals that have been determined based on the RCM II Decision worksheets.
Kata kunci: *Gas Turbine Compressor, OREDA ,Reliability, Reliability Centered Maintenance*

ABSTRAK
Peningkatan permintaan energi membuat industri migas memicu produksi dan keandalannya. *Gas Turbine Compressor* (GTC) merupakan salah satu peralatan vital dalam operasi produksi minyak dan gas. Karena vitalnya operasi GTC, diperlukan metode perawatan untuk mengoptimalkan keandalannya dan menentukan pola operasi yang tepat menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II. Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan komponen utama definitif kritis penyebab kegagalan dari sisi turbin gas masing-masing adalah *piping system, ventilation fan, control unit, intrument pressure, valves, instrument temperature, instrument speed* dan filter. Sedangkan dari sisi kompresor sentrifugal adalah *instrument temperature, antisurge system,* dan *control unit*. Dalam realisasinya di lapangan, sistem perawatan GTC diklasifikasikan menjadi 7 subsistem utama, antara lain *start system, fuel system, electrical and control system, lube oil system, turbine engine system, HPC compressor system,* dan *seal system*. Manajemen pemeliharaan dirancang untuk mengakomodir semua subsistem ini, antara lain *scheduled restoration tasks, scheduled discarded tasks, and scheduled on condition tasks* pada interval perawatan yang telah ditentukan berdasarkan *RCM II Decision worksheets*.
Kata kunci: *Gas Turbine Compressor*, Keandalan, *OREDA, Reliability Centered Maintenance*

PENDAHULUAN

Gas alam merupakan salah satu kebutuhan manusia yang penting saat ini, baik untuk rumah tangga maupun keperluan industri. Gas alam juga merupakan proyeksi dari era penggunaan energi kedepan setelah penggunaan bahan bakar minyak (BBM). Dalam kurun waktu 2017–2050, total konsumsi gas bumi diprediksikan akan tumbuh rata-rata sebesar 4,5% per tahun atau naik mencapai hingga 4,2 kali pada tahun 2050. Pengunaan gas bumi meningkat dari 1.516 BSCF pada tahun 2017 menjadi 4.723 BSCF pada tahun 2050. [2].

Gas turbine compressor (GTC) merupakan salah satu peralatan yang vital dalam operasi produksi minyak dan gas bumi. Mengingat pentingnya peranan GTC maka diharapkan operasional GTC bisa andal dan menekan *downtime* ke angka seminimal mungkin. Kegagalan operasional GTC dalam jangka waktu lama dapat mengganggu stabilitas energi nasional, sehingga perlu dilakukan penelitian terhadap keandalan pada operasional GTC. Salah satu metode yang digunakan untuk mencari solusinya adalah dengan melakukan analisa terhadap komponen kritisnya, dan menerapkan metode *reliability centered maintenance* II (RCM II).

Adapun tujuan pelaksanaan dalam penelitian dan perancangan ini adalah merumuskan komponen kritikal yang mengalami kegagalan dalam operasional GTC, menentukan laju kegagalan dari masing-masing komponen GTC, menentukan keandalan GTC dalam jangka waktu operasionalnya, dan menentukan klasifikasi perawatan komponen kritikal pada GTC dengan metode RCM II.

TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum kegiatan indsutri minyak dan gas dibagi menjadi 3, antara lain kegiatan hulu (*upstream*), kegiatan hilir (*downstream*), dan kegiatan penunjang [8]. Pada setiap kegiatan memiliki aktivitas terperinci masing-masing yang berfungsi untuk menjalankan bisnis industri minyak dan gas. Kegiatan hulu industri migas terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan tersebut mulai dari tahapan persiapan, tahapan eksplorasi, tahapan pemboran, dan tahapan eksploitasi. Kegiatan-kegiatan tersebut saling terkait satu sama lain, dan akan menentukan bagaimana kegiatan hulu industri migas tersebut kedepannya. Tahap eksploitasi & produksi merupakan usaha untuk mengangkat hidrokarbon ke permukaan dan siap untuk dipasarkan dengan menggunakan teknologi dan alat-alat yang telah ditentukan [8]. Setelah minyak bumi berada di atas permukaan maka selanjutnya akan dilakukan proses pemurnian dasar dengan tujuan menghilangkan molekul-molekul padat maupun larutan-larutan yang tidak diinginkan. Selanjutnya akan disimpan di dalam tangki penampungan dan telah siap untuk dikirim ke unit pengolahan selanjutnya.

Gas Turbine Compressor

Gas turbine compressor (GTC) merupakan peralatan produksi yang merupakan gabungan dari turbin gas dan kompresor setrifugal. Turbin gas dalam GTC merupakan peggerak (*prime mover*) yang digunakan untuk menggerakkan kompresor [3]. Kompresor setrifugal dalam operasi produksi digunakan untuk menaikkan energi yang dalam hal ini berupa tekanan kepada gas alam.

Reliability

Reliability / Keandalan didefinisikan dalam banyak cara berbeda, tetapi definisi yang paling diterima secara luas menyatakan bahwa keandalan adalah kemampuan atau kapabilitas produk untuk melakukan fungsi yang ditentukan dalam lingkungan yang ditentukan untuk jangka waktu minimum atau jumlah siklus atau peristiwa minimum [4].

Dalam sistem yang diasumsikan laju yang memiliki *failure rate* konstan *reliability* komponen dapat digambarkan dalam persamaan berikut [5].

$$R(t) = e^{-(\Sigma\lambda)t} \ldots\ldots\ldots(1)$$

Dimana :

$\Sigma\lambda$ = Jumlah failure rate dari komponen
t = waktu

Persamaan dari failure rate menjadi sebagai berikut : [7].

$$\lambda_A = \lambda_b \prod_{i=1}^{n} k_i \ldots\ldots\ldots(2)$$

$$\lambda_A = \lambda_b \, k_1 \, k_2 \ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

Dimana :

λ_A = Prediksi *failure rate* peralatan A
λ_b = base *failure rate*
k_i = *Stress factor*
k_1 = *Environment stress factor*
k_2 = *Stress factor equipment duty*

Nilai dari *Failure rate* (λ) dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut [6]

$$\textit{Failure rate}(\lambda) = \frac{Number\ of\ failure}{Number\ of\ unit\ tested\ x\ Duration\ time\ of\ tested} \ldots\ldots\ldots(4)$$

Diagram Pareto

Diagram Pareto ini merupakan suatu gambar yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut urutan ranking tertinggi hingga terendah. Penyusunan diagram pareto meliputi enam langkah :

1. Menentukan metode atau arti dari pengklasifikasian data.
2. Menentukan satuan yang digunakan untuk membuat urutan karakteristik.
3. Mengumpulkan data sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan.
4. Merangkum data dan membuat ranking kategori data tersebut dari yang terbesar hingga terkecil.
5. Menghitung frekuensi kumulatif atau persentase kumulatif yang digunakan.
6. Menggambar diagram batang, menunjukkan tingkat kepentingan relative masing-masing masalah. Mengidentifikasi beberapa hal yang penting untuk mendapat perhatian.

Reliability Centered Maintenance

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar suatu asset fisik dapat berlangsung terus memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya saat ini atau suatu pendekatan pemeliharaan

yang mengkombinasikan praktek dan strategi dari *preventive maintenance* (PM) dan *corective maintenance* (CM) untuk memaksimalkan umur (*life time*) dan fungsi asset/sistem /equipment dengan biaya minimal (*minimum cost*) [1]. Komponen RCM meliputi *preventive maintenance, Reactive/Breakdown Maintenance, Predictive Maintenance,* dan *Proactive maintenance*.

***Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA)**

Failure modes and effects analysis (FMEA) merupakan salah satu teknik yang sistematis untuk menganalisa kegagalan. Teknik analisa ini lebih menekankan pada *hardware-oriented approach* atau *bottom-up approach*. FMEA sering menjadi langkah awal dalam mempelajari keandalan sistem. Kegiatan FMEA melibatkan banyak hal-seperti me-review berbagai komponen, rakitan, dan subsistem-untuk mengidentifikasi mode-mode kegagalannya, penyebab kegagalannya, serta dampak kegagalan yang ditimbulkan. Untuk masing-masing komponen, berbagai mode kegagalan berikut dampaknya pada sistem ditulis pada sebuah FMEA *worksheet*.

RCM II (*Decision Worksheet)*

Decission worksheet merupakan lembar kerja kedua dalam menjalankan implementasi RCM II. Dalam *worksheet* ini peneliti akan menentukan dampak/ konsekuensi yang ditimbulkan oleh kegagalan serta tindakan *proactive maintenance* untuk menghadapi kegagalan yang terjadi. *Decision Worksheet* akan menganalisa konsekuensi dari adanya kegagalan apakah berpengaruh terhadap keselamatan (S), lingkungan (E), atau berpengaruh terhadap kerugian operasional (O). Setelah dilakukan analisa tersebut selanjutnya ditentukan *proposed task* apakah menggunakan *scheduled restoration task, scheduled discard task, scheculed on condition maintenance task,* atau *default action*.

METODE

Metode penelitian merupakan suatu gambaran sistematika penulisan yang akan dijadikan acuan dalam melaksanakan penelitian agar terarah.

1. Tahapan identifikasi yang terdiri dari
    a. Studi lapangan
    b. Studi literatur
    c. Identifikasi masalah
    d. Perumusan masalah
    e. Tujuan penelitian
2. Tahapan Pengumpulan data yang terdiri dari
    a. Studi lapangan (dokumentasi atau interview)
    b. Studi pustaka
3. Tahapan pengolahan data yang terdiri dari
   Pengolahan data yang dilaksanakan diawali dari menghimpun data berdasarkan literatur OREDA. Setelah penghimpunan data maka dilakukan pengolahan data yang terdiri dari *Reliability Block Diagram*, lalu perhitungan laju kegagalan, serta *reliability* dan analisa komponen kritis pada GTC, perumusan *failure* mode and effect analysis, serta pembuatan RCM II *decision worksheet* untuk implementasi manajemen perawatannya.
4. Tahapan kesimpulan dan saran
    a. Perumusan kesimpulan
    b. Saran dan penelitian selanjutnya

HASIL DAN PEMBAHASAN

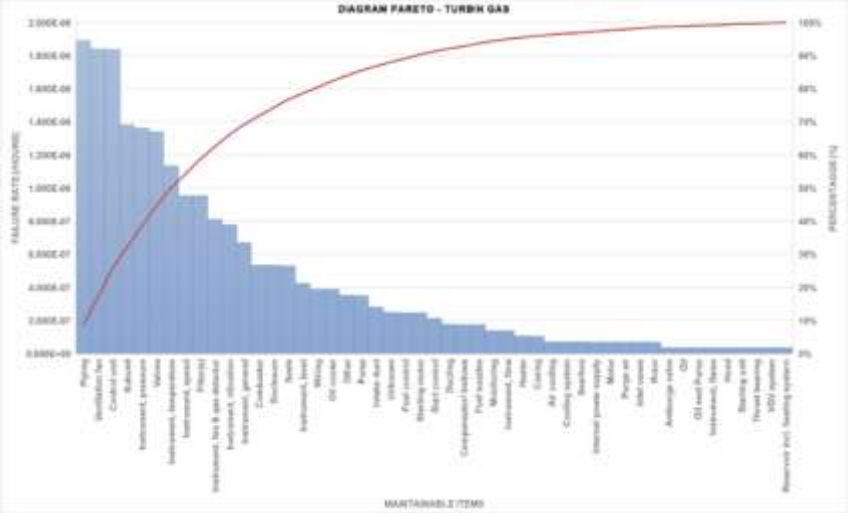
Turbin Gas

Dari analisa dan perhitungan laju kegagalan khususnya *critical failure* berdasarkan pada data OREDA yang dilaksanakan terhadap system turbin gas (*driver*) didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 1. Data dan perhitungan laju kegagalan *critical* turbin gas [9]

Equipment	*Unit tested*	*Number of Failures*	*Duration (hours)*	*λ(1/hours)*
Gas Turbines	28	296	787200	$1{,}343 \times 10^{-5}$

Berdasar setiap *maintainable items* pada *gas turbine*, dilakukan distribusi *failure rate* pada masing-masing komponen *maintainable items*. Diagram pareto dari *failure rate* masing- masing komponen turbin gas digambarkan dalam gambar 1 sebagai berikut:

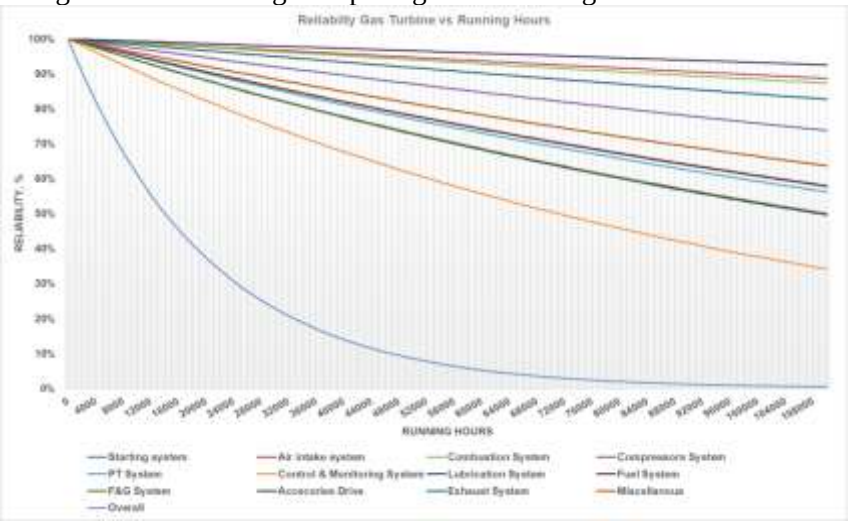


Gambar 1. Diagram pareto *failure rate* komponen *turbin gas*

Berdasarkan analisa pareto diatas , bagian paling terbesar yang berkontribusi dari semua maintainable items adalah *piping system* yaitu sebesar 8,76 %, diikuti *ventilation fan, control unit, intrument pressure, valves, instrument temperature, instrument speed* dan filter dan diikuti oleh komponen yang lainnya.

Pada kasus ini operasional gas turbine pada lingkungan lepas pantai/*offshore* sehingga untuk faktor *environtment stress factor* (k1) sebesar 2.0 untuk *offshore platform*. Sedangkan untuk *component nominal rating* menggunakan nilai berdasarkan masing masing peralatan [7].

Nilai perhitungan *reliability analysis* untuk masing-masing Subsystem yang terdiri dari beberapa *maintainable items* digambarkan dalam grafik pada gambar 2 sebagai berikut



Gambar 2. Analisa *reliability* turbin gas terhadap *running hours*

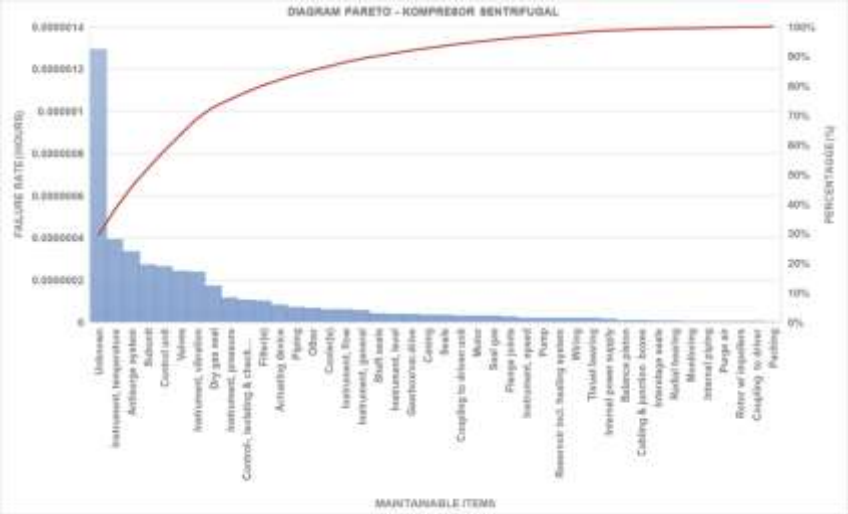
Kompresor Sentrifugal

Pada sisi kompresor sentrifugal (*driven*) setelah analisa dan perhitungan laju kegagalan khususnya *critical failure* berdasarkan pada data OREDA yang dilaksanakan terhadap system didapatkan nilai sebagai berikut:

Tabel 2. Data dan perhitungan laju kegagalan *critical* kompresor sentrifugal [9]

Equipment	*Unit tested*	*Number of Failures*	*Duration (hours)*	*λ(1/hours)*
Centrifugal Compressors	43	250	2.100.200	2.768 x 10-6

Dari setiap *maintainable items* pada kompresor sentrifugal, dilakukan distribusi *failure rate* pada masing-masing komponen *maintainable items*. Diagram pareto dari *failure rate* masing- masing komponen kompresor sentrifugal digambarkan dalam gambar 3 sebagai berikut

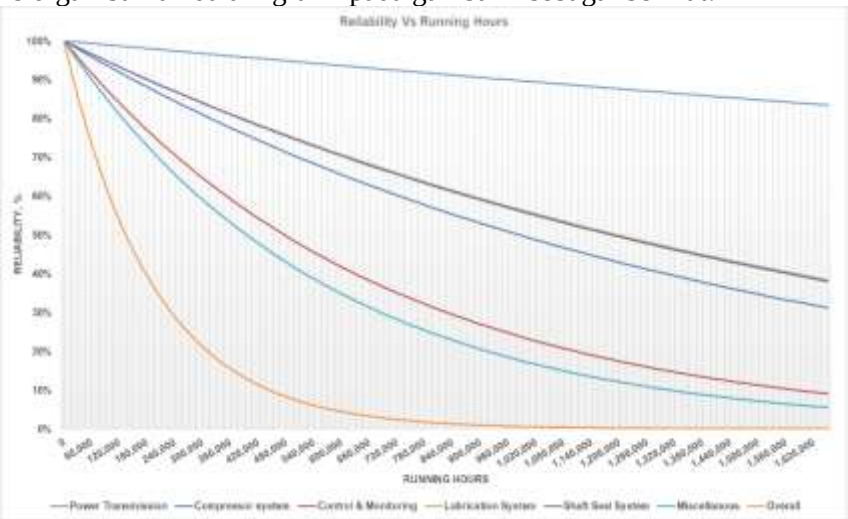


Gambar 3. Diagram pareto *failure rate* komponen kompresor sentrifugal

Berdasarkan analisa pareto diatas , bagian paling terbesar yang berkontribusi dari semua *maintainable items* adalah *Unknown* yaitu sebesar 29,17 %, diikuti *instrument temperature, antisurge system, control unit* dan selanjutnya diikuti oleh komponen yang lain. Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa kategori *unknown* ini penting dan seringkali satu-satunya pilihan untuk mengkategorikan sesuatu. Meskipun demikian, dari sudut pandang operasional juga ada beberapa kasus dengan kombinasi yang terdaftar yang tidak logis. Kombinasi *maintainable items* yang tidak diketahui dengan *failure mode* yang diketahui (other) berarti bahwa ada pengetahuan tentang bagaimana sesuatu gagal tanpa mengetahui item mana yang menunjukkan mode kegagalan ini. Dalam operasional mungkin sulit untuk melacak sejarah peralatan dengan andal [10].

Pada kasus ini operasional kompresor gas sentrifugal pada lingkungan lepas pantai/*offshore* sehingga untuk faktor *environtment stress factor* (k1) sebesar 2.0 untuk *offshore platform*. Sedangkan untuk *component nominal rating* menggunakan nilai berdasarkan masing masing peralatan [7].

Nilai perhitungan *reliability analysis* untuk masing-masing Subunit yang terdiri dari beberapa *maintainable items* digambarkan dalam grafik pada gambar 4 sebagai berikut:

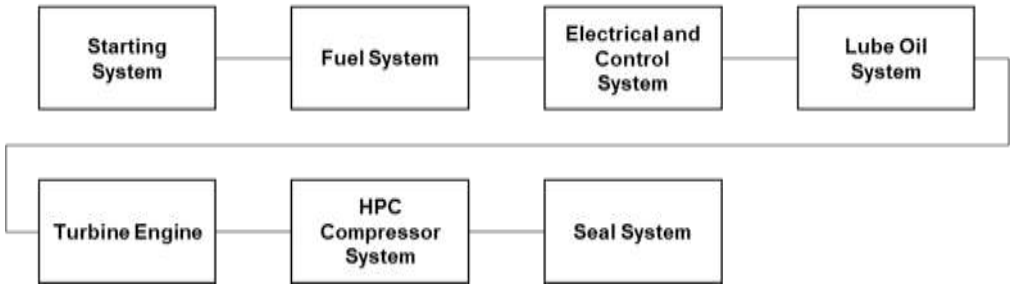


Gambar 4. Analisa *reliability* kompresor sentrifugal terhadap *running hours*

***Reliability Block Diagram* (RBD)**

Dalam operasi aktualnya di lapangan, subsystem utama GTC dalam konteks perawatannya terdiri dari *start system, fuel system, electrical dan control system, lube oil system, turbine engine* (terdiri dari *air inlet, compressor, compressor diffuser, annular combustor, turbine, exhaust diffuser*, dan *exhaust collector*), *HPC compressor system* (termasuk *antisurge valve system*), dan *seal system*. Pada subsystem GTC, keterkaitan antar subsystem digambarkan dalam bentuk seri, jadi jika salah satu subsystem

mengalami kegagalan maka seluruh sistem akan berhenti. *Reliability Block Diagram* untuk subsystem GTC dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Reliability Block Diagram Gas Turbine Compressor.*

Failure Modes and Effects Analysis

Failure Modes and Effect Analysis digunakan untuk mengidentifikasi *functions, functional failures, failure modes* dan *failure effect*. Penyusunan tabel FMEA dilakukan berdasarkan data fungsi komponen, laporan perawatan dan hasil wawancara dengan pekerja terkait operasional dan *maintenance* GTC. Sekilas hasil analisa FMEA terdapat pada tabel 3, dan selengkapnya terdapat pada lampiran.

Tabel 3. Hasil RCM FMEA information worksheet

RCM FMEA INFORMATION WORKSHEET				
No	*Fuction*		*Functional Failure*	*Failure Mode*	*FAILURE EFFECT*
2	*Turbine engine*	A	*Turbine engine* tidak dapat beroperasi sehingga tidak bisa berfungsi sebagai *prime mover* untuk menggerakkan *driven* unit	*Low output*	*Low engine performance* dan *efficiency* sehingga GTC tidak dapat *performing* maksimal
				Mechanical failure	Penurunan *performance* atau kegagalan *turbine engine* karena penumpukan *deposit* baik debris ataupun carbon sisa pembakaran fuel
				Plugged-blockage	*Ignition fail* pada saat *sequence start up* GTC atau *engine flame out* pada saat beroperasi

Note: Hasil analisa RCM FMEA selengkapnya pada lampiran .

RCM II Decision Worksheet

RCM II *Decision Worksheet* digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure modes*. Ringkasan RCM II *Decision worksheet* terdapat pada tabel 4 sebagai berikut

Tabel 4. Hasil RCM II *Decision Worksheet*

RCM TASKS DECISION WORKSHEET																				
Information Reference			Failure Consequence				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	H4 S4 O4	Dafault Tasks			Proposed Tasks	Maintenance Classification (Check Classification)					Initial Interval	Responsible
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	N4	H4	H5	S4		PM	CBM	RTF	RED	MOD		
2	A	1	Y	N	N	Y		Y						Scheduled restoration task :Lakukan engine performance analysis	Y					4000	TURBOMACHINERY
		2	Y	N	N	Y		Y						Scheduled restoration task :Lakukan engine ingestive cleaning (detergent wash)	Y					4000	TURBOMACHINERY
		3	Y	N	N	Y		Y						Scheduled restoration task :Inspeksi jalur fuel mulai dari manifold header sampai injector pastikan tidak ada kebocoran dan plugged	Y					4000	TURBOMACHINERY

Note: Hasil keseluruhan RCM II Decision Worksheet pada lampiran .

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilaksanakan dan penyesuaian data di lapangan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Komponen kritis yang dapat didefinisikan dari *gas turbine compressor* (GTC) terhadap kejadian kegagalan terdiri dari sisi turbin gas (*driver*) maupun kompresor sentrifugal (*driven*). Dari sisi gas turbine (*driver*) antara lain *piping system, ventilation fan, control unit, intrument pressure, valves, instrument temperature, instrument speed* dan *filter*. Dari sisi kompresor sentrifugal (*driven*) komponen yang dominan laju kegagalannya adalah *instrument pressure, antisurge valve system* dan *control unit*.
2. Jadwal perawatan yang efektif dan efisien serta meminimumkan *downtime* dari operasional GTC adalah sebagai berikut :
   a. *Electrical* dan *control system* : *Scheduled restoration task (Weekly), Scheduled restoration task (4000 hrs), Scheduled restoration task (8000 hrs),* dan *scheduled discarded task (8000 hrs*).
   b. Turbine engine: Scheduled restoration task (Weekly), Scheduled restoration task (4000 hrs), Scheduled restoration task (8000 hrs), scheduled on condition task (3 Monthly) dan *scheduled discarded task (4000 hrs).*
   c. Lube oil system : Scheduled restoration task (4000 hrs) dan *scheduled discarded task (4000 hrs).*
   d. Dry gas seal system : Scheduled restoration task (Weekly), Scheduled restoration task (4000 hrs), Scheduled restoration task (8000 hrs), dan *scheduled discarded task (4000 hrs).*
   e. Fuel gas system : Scheduled restoration task (Daily), Scheduled restoration task (4000 hrs), Scheduled discarded task (4000 hrs), dan *scheduled on condition task (3 Monthly).*
   f. Start system : Scheduled restoration task (4000 hrs) dan *Scheduled discarded task (500 starts).*
   g. HPC Compressor and antisurge system : Scheduled restoration task (4000 hrs) dan *scheduled on condition task (3 Monthly).*

DAFTAR PUSTAKA

[1] Adigama, A.S., "Penyusunan *Schedule* Perawatan Sepeda Motor Honda Supra X 125 Sub-Assembly Rem Berbasis *Reliability Centered Maintenance* (RCM)", Disertasi Program Doktor, Universitas Diponegoro, p. 6-21, 2011.
[2] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, "Outlook Energi Indonesia", vol. 1, p. 37-39,2019.
[3] Brun, K., Kurz, R., "*Introduction to Gas Turbine Theory*", vol. 4, p. 19-149, 2019.
[4] Goble, W.M., Bukowski, J.V., "*Comparing FMEDA predicted failure rates to OREDA estimated failure rates for sensor and valve assemblies*", Villanova University, 2017.
[5] Liberackl, R., "*Selected aspects of determining of the reliability of the pump subsystems with redundancy, used in main engine auxiliary systems*", *Journal of POLISH CIMAC, Faculty of Ocean Engineering & Ship Technology,* GDABSK University of Technology, vol. 1, p. 3-6, 2010.
[6] Mohammed, A. et al., "*Reliability-based preventive maintenance strategy of truck unloading systems", MDPI Journal applied sciences,* vol. 10, p. 9-10, 2020.
[7] Moss, T.R., "*Rotating Machinery Reliability",* Loughborough University, p. 12-56, 1999.
[8] Satiawan, B., "Pengaplikasian perkuliahan teknik pondasi & mekanika tanah dalam mendukung kehandalan industri migas", Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2018, p. 2, 2018.
[9] SINTEF Industrial Management, "*Offshore Reliability Data Handbook*", vol. 6, p. 59-95, 2015.
[10] Spruntrup,F.S. et al , "*Reliability improvement of compressors based on asset fleet reliability data*", Norwegian University of Science and Technology, Elsevier, 2018.