

Analysis of Downtime Common Rail Deutz Technology Engine Using RCM Methods

Rachmat Darmawan^{1,*}, Fajar Azhari Julian², Novianti Rachmayani³, Andri Mulyana⁴, Abdul Rochim⁵

^{1,2,3,4,5}Department of Industrial Engineering, Universitas Ary Ginanjar, Indonesia

Article Info

Article history:

Received September 24, 2025

Accepted October 24, 2025

Published January 1, 2026

Keywords:

Downtime

Common Rail

Pushback TMX-450

Failure Parts

RCM

ABSTRACT

This study aims to analyze and minimize engine downtime on Deutz common rail technology using the Reliability Centered Maintenance (RCM) approach on the TMX-450 Pushback unit which is commonly used in the aviation industry. The analysis uses quantitative data based on downtime data and intervals related to downtime frequency data on injector components which have recorded failure parts with a frequency of 10 times and accumulated downtime of 21 hours. The results of the analysis on downtime values before and after the implementation of RCM are the inspection schedule increased from 5% to 12%, the repair schedule increased from 24% to 49%, the discharge schedule increased from 10% to 19%, and of course no treatment decreased significantly from 61% to 20%. The conclusion is that the implementation of RCM reduces total downtime by 30% and provides an increase in component reliability to 98.8% which shows that RCM is effective in optimizing maintenance scheduling.



Corresponding Author:

Rachmat Darmawan,

Department of Industrial Engineering,

Universitas Ary Ginanjar,

Tower 165, Cilandak No. Kav 1 Lt 2 & 18, Cilandak Timur, Pasar Minggu, South Jakarta City, Special

Capital Region of Jakarta 12560.

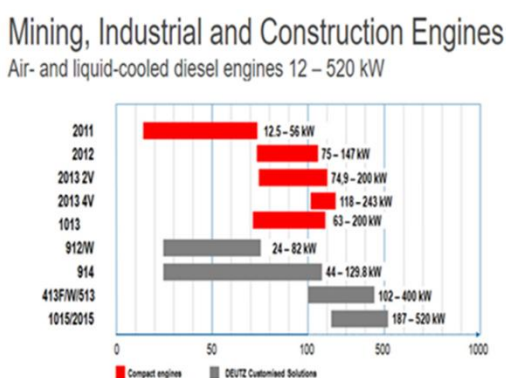
Email: *rachmat.darmawan@uag.ac.id

1. INTRODUCTION

Perkembangan pada industri permesinan yang bergerak di bidang pembangkit listrik dan solusi energi. Dalam menjalankan tugasnya sebagai distributor, kontraktor selalu dituntut untuk mencapai target rencana produksi yang disepakati kedua belah pihak antara pemilik dan kontraktor. Salah satu faktor utama masalah internal yang dapat menyebabkan tidak tercapainya output daya sesuai rencana ialah kerusakan unit. Masalah yang timbul dari pertanyaan fraksional adalah munculnya *downtime* yang mengakibatkan unit mesin tidak dapat beroperasi, sehingga berdampak langsung pada krisis daya dan penghentian operasional unit. Pada dasarnya kerusakan dari suatu mesin tidak dapat diketahui secara pasti, dan manusia selalu berusaha untuk meningkatkan umur atau waktu penggunaan dengan melakukan perawatan [1]. Hal ini berkaitan dengan jenis perawatan mesin, dan juga belum adanya perencanaan jadwal perawatan berdasarkan analisis kegagalan mesin serta tidak terencananya ketersediaan *spareparts* penunjang sistem perawatan mesin [2]. Pada umumnya sistem pemeliharaan terbagi menjadi dua yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. *Preventive maintenance* ialah aktivitas pemeliharaan yang diterapkan sebelum mesin *trouble*, sedangkan *corrective maintenance* ialah aktivitas pemeliharaan yang dilakukan saat terjadi *trouble* pada mesin [3]. Menurut [4], bahwa analisis keandalan ini menjadi perhatian khusus pada komponen kritis dari sebuah peralatan dikarenakan komponen kritis merupakan sebuah komponen yang memiliki potensi untuk mengalami kerusakan yang dapat berpengaruh pada keandalan operasional unit dari sebuah sistem. Mesin dan peralatan yang digunakan juga memiliki pengaruh terhadap efisiensi perusahaan, mesin yang mengalami banyak kerusakan akan meningkatkan biaya perawatan [5]. Menurut Rao dalam artikelnya dengan judul *Preventive Maintenance Characteristics Ahead of Optimal Maintenance Performance* menjelaskan bahwa perawatan preventif merupakan pendekatan yang efektif untuk meningkatkan keandalan dan kualitas sistem beserta komponen – komponennya [6]. Peneliti melakukan tinjauan bahwa analisis kegagalan material sangat penting dilakukan

untuk mengetahui hal – hal yang mempengaruhi efisiensi kerja dari suatu material, sehingga kedepannya dapat menjadi bahan acuan dalam pengambilan keputusan mengenai material tersebut [7]. Namun, korporasi tetap berupaya bagaimana kinerja mesin tersebut harus dijaga secara optimal dengan harapan keandalan dari kinerja mesin dapat meningkat [8]. Komitmen ini diharapkan akan berdampak pada pertumbuhan Perusahaan pada tingkat kinerja, efektivitas dan efisiensi sumber daya yang dilibatkan pada lini usaha Perusahaan. Pemahaman ini juga disampaikan oleh [9], bahwa seiring dengan perkembangan industri hal ini memungkinkan mesin melakukan serangkaian tugas yang panjang, dituntut adanya pelaksanaan perawatan yang baik dan terjadwal. Perawatan lebih diarahkan untuk menjaga kontinuitas, sehingga sistem akan meningkatkan produktivitasnya.

Maka itu pada mesin deutz memiliki keandalan tinggi, daya tahan kuat untuk kondisi ekstrem serta tingkat kebisingan rendah. Namun, pada model yang lebih modern seperti mesin common rail membutuhkan spesifikasi bahan bakar yang baik dan perawatan berkala yang lebih teliti, sebagai contoh kasus pada sistem common rail dapat menjadi rentan terhadap kontaminasi bahan bakar yang dapat merusak injector dan komponen lainnya. Oleh karena itu, perlu memastikan penggunaan bahan bakar yang bersih dan berkualitas. Pada penelitian ini pilihan metode yang digunakan ialah *Reability Centered Maintenance* (RCM) yaitu teknik yang lebih maju untuk menentukan aktivitas *preventive maintenance* yang menjamin asset beroperasi dengan optimal [10]. Menyebutkan bahwa RCM ialah proses sistematis yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilaksanakan untuk memastikan setiap fasilitas penunjang dapat terus menjalankan fungsinya dalam operasional. Analisis RCM memberikan pemahaman yang lengkap tentang aset atau sistem [11]. Hal ini didasarkan pada prinsip bahwa keandalan dari peralatan dan struktur dari kinerja yang akan dicapai ialah fungsi dari perencanaan dan kualitas pembentukan *preventive maintenance* yang efektif. Perencanaan tersebut juga meliputi komponen pengganti yang telah diprediksikan dan direkomendasikan [12]. Penentuan metode ini diperkuat dengan cara analisa resiko dalam manajemen pemeliharaan metode yang sistematis menggunakan metode FMEA [13]. Salah satu manfaat FMEA ialah sebagai alat analisis yang terstruktur dan biasanya mencakup beragam kelompok orang dari latar belakang dan pengalaman yang berbeda [14]. Perkembangan saat ini bahwa FMEA tidak lagi terbatas pada sektor manufaktur, FMEA telah meluas ke berbagai bidang termasuk layanan Kesehatan, transportasi, energi hingga Pendidikan [15]. Melakukan pemeliharaan yang baik adalah bukan hanya dilihat dari hasil atau keluaran (*Output*) dari proses pemeliharaan itu sendiri yaitu didasarkan pada beroperasi kembali peralatan atau mesin yang diperbaiki tetapi juga dilihat dari banyak hal termasuk biaya, waktu, jaminan keandalannya secara optimal [16]. Aplikasi unit mesin yang digunakan adalah Genset (*Generator Set*) dan *Heavy Duty* (*Bomag, Pushback*, dan lainnya). Berdasarkan data portofolio daya multi-mesin, rentang daya berkisar antara 12 kW hingga 520 kW. Mesin ini lebih banyak berdampak pada hasil produksi, hal seperti ini jika dibiarkan begitu saja dapat membuat pemilik kecewa dan bahkan mendapatkan penalti peringatan. Di perusahaan ini terdapat berbagai macam tipe dan jenis mesin yang dimiliki seperti, D 2011, 2012, 2013 4V, BF 1015, yang dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. *Portfolio Deutz Power Range*

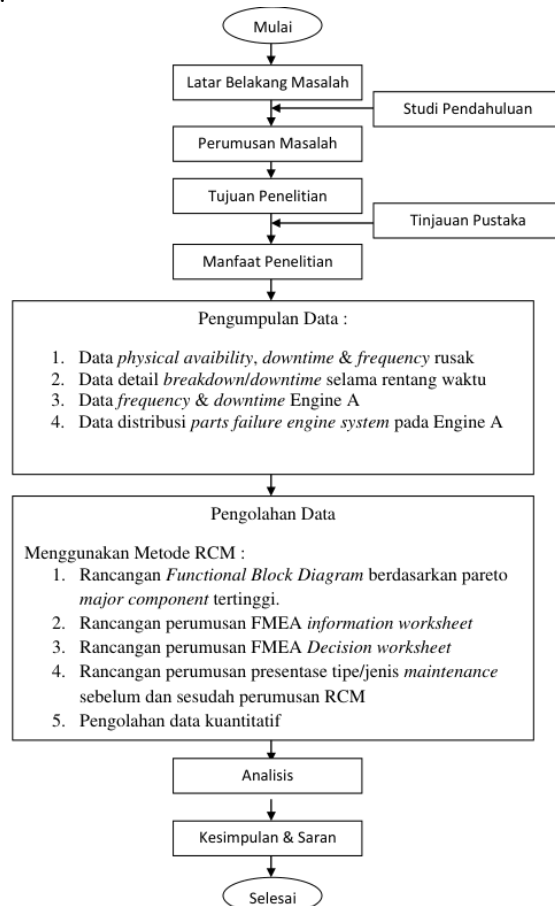
2. METODE PENELITIAN

Dalam studi kasus, terdapat 3 jenis mesin yang sering mengalami gangguan dan masalah penembakan, yaitu D 2011, BF 1015, dan mesin berteknologi *common rail*. Dalam kasus ini, mesin berteknologi *common rail* diberi nama awal mesin A, hal ini dilakukan untuk menjaga privasi mesin tersebut. Dari Tabel 1. dapat dilihat bahwa mesin A PA (*Physical Availability*) tidak tercapai dan mengalami kerusakan & frekuensi maksimal.

Tabel 1. PA Data, Downtime & Freq Engine Damage Unit A

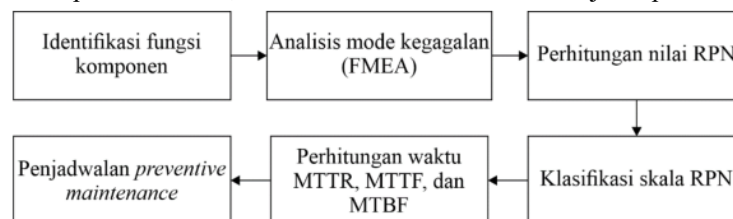
No	Code Number	PA		Downtime (Hour)	Freq. Damage
		Plan	Actual		
1	Common Rail		75%	192	96
2	BF 1015	93,7%	78,75%	74	57
3	D 2011		85,6%	51	44

Mesin A mempunyai downtime selama 192 jam, dari *downtime* tersebut besaran 96 jam terjadi pada mesin komponen utama dengan frekuensi 48 kali, ini merupakan kerusakan pareto tertinggi. Lalu, dalam menentukan metode penelitian ialah langkah yang dilakukan dalam rangkaian pada tahapan mengumpulkan informasi dan data yang tersusun secara sistematis dengan tujuan untuk melaksanakan penelitian dan menghasilkan *output* penelitian yang sesuai. Berikut diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini yang ditunjukkan pada Gambar 2:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Dalam melakukan analisis penjadwalan mesin menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), tahapan awal yang perlu dilakukan ialah mengidentifikasi sistem mesin dan menentukan fungsi dari setiap komponen mesin. Setelah menganalisa fungsi dari masing – masing komponen, metode FMEA dilakukan untuk mencari tingkat prioritas dari perawatan dan perbaikan mesin serta mengidentifikasi akan resiko kegagalan dari komponen tersebut, lalu model metode RCM ini disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Model Metode RCM

3. HASIL DAN ANALISIS

Data utama yang digunakan sebagai referensi studi ini adalah data sekunder yang berasal dari perusahaan, meliputi: data unit kinerja (kemampuan fisik) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Informasi detail/waktu henti mesin (*downtime*) untuk periode April 2024 - September 2024 ditunjukkan pada Tabel 3. Data frekuensi dan *downtime* Engine A ditunjukkan pada Tabel 4. Distribusi data sistem *failure parts* A ditunjukkan pada Tabel 5.

3.1. Data Performance Unit (Physical Availability)

Berdasarkan data Tabel 2 dapat diketahui bahwa Engine A dengan kualifikasi fisik tidak tercapai dan juga mempunyai kerusakan & frekuensi yang maksimal.

Tabel 2. *PA data, Downtime & Freq Engine Damage Unit A*

No	Code Number	PA		Downtime (Hours)	Freq. Damage
		Plan	Actual		
1	Common Rail		75%	192	96
2	BF 1015	93.7%	78.75%	74	57
3	D 2011		85.6%	51	44

3.2. Breakdown / downtime details in April 2024 – September 2024

Berdasarkan data *breakdown/downtime* terperinci selama periode April 2024 - September 2024, pencatatan dilakukan pada mesin unit A di setiap sub-rakitan komponen yang mengalami kegagalan dengan menyelesaikan periode waktu actual, seperti ditunjukan pada Tabel 3.

Tabel 3. *Data Detail Record Failure Engine System*

Raised Date	Closed Datetime	Comp. Desc.	Part Causing Failure	Failure Code	Actual Duration
04/03/2024	04/04/2024	Engine	Injector	Leak	10.5
04/13/2024	04/13/2024	Main Frame	Lock Door	Malfunction	8
04/16/2024	04/16/2024	Attachment	Lock Pin Blade	Broken	10
04/27/2024	04/27/2024	Travel Drive	Oring	Broken	11
05/13/2024	05/13/2024	Travel Drive	Oring	Broken	9
05/13/2024	05/13/2024	Optional	Compressor Assy	Broken	10
05/17/2024	05/17/2024	Engine	Injector	Leak	9.5
05/17/2024	05/17/2024	Engine	Turbocharger	Broken	10
05/20/2024	05/20/2024	Engine	Turbocharger	Broken	11
05/27/2024	05/27/2024	Optional	Compressor Assy	Broken	10.5
05/30/2024	05/30/2024	Engine	Turbocharger	Broken	12
06/04/2024	06/04/2024	Optional	Compressor Assy	Broken	10
06/17/2024	06/17/2024	ENGINE	Turbocharger	Broken	10
06/22/2024	06/22/2024	Engine	Turbocharger	Broken	11
06/24/2024	06/24/2024	Engine	Turbocharger	Broken	12
06/25/2024	06/25/2024	Main Frame	Lock Door	Malfunction	7.5
07/04/2024	07/04/2024	Main Frame	Lock Door	Malfunction	7.5
07/07/2024	07/07/2024	Engine	Injector	Leak	11
07/24/2024	07/24/2024	Hydraulic	Hydraulic Cyl	Broken	19
07/25/2024	07/25/2024	Hydraulic	Hydraulic Cyl	Broken	21
07/25/2024	07/25/2024	Engine	Injector	Leak	10
07/25/2024	07/25/2024	Hydraulic	Hydraulic Cyl	Broken	22
07/28/2024	07/28/2024	Hydraulic	Hydraulic Cyl	Broken	20
07/30/2024	07/30/2024	Attachment	Lock Pin Blade	Broken	9
07/31/2024	07/31/2024	Hydraulic	Hose inlet pump	Broken	29
08/01/2024	08/01/2024	Hydraulic	Hose inlet pump	Broken	35
08/06/2024	08/06/2024	Engine	Injector	Broken	12
08/06/2024	08/06/2024	Hydraulic	Hose inlet pump	Broken	32
08/11/2024	08/11/2024	Main Frame	Operator Seat	Malfunction	9
08/12/2024	08/12/2024	Hydraulic	Hose inlet pump	Broken	15
08/16/2024	08/16/2024	Engine	Turbocharger	Broken	10
08/16/2024	08/16/2024	Engine	Oil Engine Filter	Leak	4
08/24/2024	08/24/2024	Hydraulic	Hose inlet pump	Broken	17
08/26/2024	08/26/2024	Engine	Oil Engine Filter	Leak	4.5
08/27/2024	08/27/2024	Engine	Oil Engine Filter	Leak	4
08/28/2024	08/28/2024	Travel Drive	Hose travel drive	Broken	10
08/30/2024	08/30/2024	Attachment	Lock Pin Blade	Broken	11
08/30/2024	08/30/2024	Engine	Oil Engine Filter	Leak	4.5
09/02/2024	09/02/2024	Engine	Oil Engine	Dirty	4
09/10/2024	09/10/2024	Optional	Compressor Assy	Broken	10.5
09/10/2024	09/10/2024	Optional	V-Belt AC	Broken	2

09/13/2024	09/13/2024	Optional	V-Belt AC	Broken	2
09/15/2024	09/15/2024	Travel Drive	Hose travel drive	Broken	9
09/20/2024	09/20/2024	Hydraulic	Hose inlet pump	Broken	17
09/20/2024	09/20/2024	Engine	Oil Engine	Dirty	4
09/22/2024	09/22/2024	Engine	Oil Engine	Dirty	3.5
09/23/2024	09/23/2024	Attachment	Cyl. Lift Blade	Scratch	17
09/26/2024	09/26/2024	Engine	Oil Engine	Dirty	3.5
09/30/2024	09/30/2024	Attachment	Cyl. Lift Blade	Scratch	15

Tabel 4. Data Freq & Downtime Engine A

Major Breakdown Component	Freq	Downtime (Hours)
Engine	48	96
Hydraulic System	8	16
Electrical System	7	14
Attachment / Work Equipment	8	16
Machine (Main Frame & Guard)	8	16
Optional Accesories	8	16
Travel Drive / Axle Assy	9	18
Total	96	192

3.4. Data Distribusi Parts Failure Engine System

Mengetahui informasi terkait data frekuensi *Downtime A* & mesin, hal ini banyak terjadi pada komponen *main Engine* dengan memasukkan distribusi komponen *failure parts A*, ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Distribusi Parts Failure Engine System

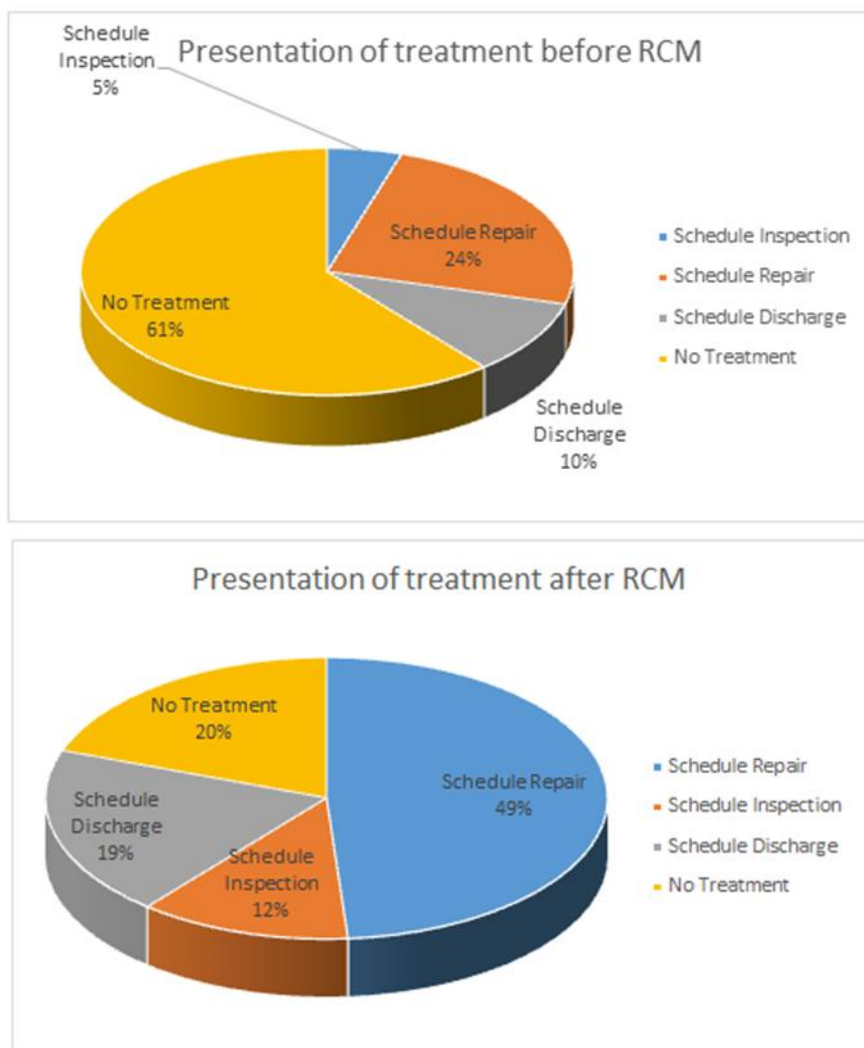
Failure parts	Freq	Downtime (Hours)
Injector	10	21
Thermostat	7	10
Cyl.head gasket	6	12
Fuel supply pump	5	7
Press.Sensor common rail	5	11
Turbocharger	4	9
Fuel filter	3	2
Oil Engine	3	4
Oil Engine filter	2	2
water pump	2	10
Radiator core	1	8
Total	48	96

3.5. Data Processing

Dalam studi ini, pemrosesan data dilakukan sesuai urutan proses pembuatan RCM (*Reliability Centered Maintenance*). Urutannya adalah perumusan FBD (*Functional Figure Diagram*), kemudian berdasarkan data fraksional Pareto, dilanjutkan dengan pembuatan FMEA (*Information Sheet*). Setelah FMEA selesai, langkah selanjutnya adalah mencatat jenis perawatan yang harus dilakukan (analisis RCM sebelum-sesudah). Data Pareto yang tertinggi untuk *failure* injektor dimana jenis perawatannya diketahui, waktu pemeriksaan dan penggantian yang paling efektif dan efisien. Dari pemrosesan bagian data yang telah dilakukan pada FMEA (Lembar Kerja Informasi & Keputusan), diperoleh jadwal jenis perawatan yang harus dipilih dan dilakukan untuk meminimalkan kerusakan yang tidak terjadwal. Jenis data perawatan yang dipilih/dijalankan sebelum dan sesudah formulasi FMEA/RCM ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 4.

Tabel 6. Maintenance of Data Type Before – After RCM

Before	%Tase
Schedule Inspection	2 5%
Schedule Repair	10 24%
Schedule Discharge	4 10%
No Treatment	25 61%
Total	41
After	%Tase
Schedule Inspection	2 12%
Schedule Repair	10 49%
Schedule Discharge	4 19%
No Treatment	25 20%
Total	41



Gambar 4. Comparison chart before and after the implementation of RCM

3.6. Analysis of Pareto Diagrams

Berdasarkan penyebab tingginya *downtime* mesin (A), antara lain *Engine system*, *hydraulic system*, *electrical system*, *electrical system*, *Attachment* atau *Work Equipment*, *Machine (Main Frame & Guard)*, *Optional Accesories*, *Travel Drive* atau *Axle Assy*. Dalam hal frekuensi dan *downtime*, komponen *Engine* memiliki nilai tertinggi, dengan frekuensi 50% dari total frekuensi, dan *downtime* 50% dari total *downtime*. Berdasarkan hasil data dari presentase tersebut peneliti melakukan analisa lebih lanjut pada mesin-mesin komponen utama, menunjukkan terdapat 11 jenis *spareparts* yang mengalami kerusakan, antara lain: *injektor*, *thermostat*, *cyl. head gasket*, *fuel supply pump*, *press. sensor common rail*, *turbocharger*, *fuel filter*, *oil Engine*, *oil Engine filter*, *water pump & radiator core*. Pada frekuensi dan *downtime part* injektor memiliki nilai tertinggi, dengan frekuensi sebesar 20% dari total frekuensi, dan *downtime* sebesar 21% dari total *downtime*, jika dituliskan dalam bentuk sebenarnya terdapat 10 kali *failure part* injeksi dengan *downtime* selama 21 jam.

3.7. Formulation Analysis of Type Percentage of Maintenance (Before – After RCM)

Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa sebelum program RCM, 61% komponen mesin tidak dirawat, hanya 5% yang diperiksa secara berkala, 24% yang melakukan perbaikan rutin, dan hanya 10% yang diganti secara rutin. Untuk meningkatkan keandalan, persentase inspeksi/pemantauan harus tinggi, dan meminimalkan persentase komponen yang tidak dirawat. Tabel 6 juga menunjukkan bahwa setelah program RCM/FMEA, perawatan yang tidak dilakukan meningkat dari 61% menjadi 20% dan jadwal perbaikan meningkat dari 24% menjadi 49%. Penggantian terjadwal meningkat dari 10% menjadi 19%.

3.8. Quantitative Data Processing Analysis

Rincian kerusakan akibat *downtime* pada komponen injektor, yang bervariasi antara 9 hingga 12 jam. Rincian interval waktu henti komponen injeksi, yang bervariasi antara 78 hingga 497 jam. Data waktu henti akan digunakan untuk menghitung nilai MTTR, dan data *interval* akan digunakan untuk menghitung nilai MTTF. Data waktu henti tersedia berdasarkan rincian bulanan data histori, sementara perhitungan *interval*, pengumpulan data dilakukan antara selisih tanggal dan waktu kerusakan yang terjadi sebelumnya. Jam kerja produktif mesin adalah 20 jam per hari (tentatif) dan beroperasi rata-rata 28/30 hari dalam sebulan.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode FMEA dan RCM pada mesin common rail yang saat ini digunakan oleh perusahaan penerbangan aviasi pada unit *Pushback* TMX-450 terletak pada sensitivitas terhadap kualitas bahan bakar, dimana memerlukan bahan bakar berkualitas tinggi (dengan kadar sulfur rendah) hal ini dikarenakan sistemnya lebih rentan terhadap kotoran yang dapat menyebabkan masalah seperti asap atau kerusakan pada komponen. Gejalanya meliputi tekanan *control injector* terlalu rendah, mengakibatkan pengaturan waktu pembakaran tidak tepat secara menyeluruh, yang menyebabkan detonasi dini serta juga suara ketukan atau getaran (knocking) yang bisa merusak komponen mesin jika hal ini terjadi berulang kali. Hasilnya diperoleh frekuensi pemeriksaan sebanyak 8.493 [x] 9 x per bulan, dengan interval pemeriksaan tiap 82 jam. Analisa keandalan mesin common rail tanpa perawatan hanya sebesar 83.3%. Jika ditambah aktifitas pemeriksaan dan penggantian tiap 650 jam, maka tingkat keandalannya naik menjadi 98,8%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil investigasi, pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penyebab *failure* paling utama pada mesin A ialah dari komponen *main Engine* dengan *downtime* 192 jam (26%), dengan bagian *failure* tertinggi bagian injeksi dengan *downtime* 96 jam (13%).
2. Langkah – Langkah perbaikan yang harus segera diambil dan dipilih untuk mengatasi *failure* komponen injector adalah perawatan dengan kondisi tersebut, di mana kondisi lubang bahan bakar harus diperiksa apakah bocor atau tidak. Jika tidak dilakukan pemantauan, apakah ada filter bahan bakar atau prefilter yang keluar melalui lubang bahan bakar. Jika ada pengujian tertentu, jika masih berfungsi, lakukan penjadwalan perawatan rutin.
3. Dari hasil pengolahan data diperoleh interval waktu penginjeksian injector selama 650 jam, dengan rata – rata waktu pemeriksaan 0,193265 jam, interval pemeriksaan 82 jam (9 kali dalam 1 bulan) dan derajat keandalan komponen injector tanpa dilakukan pemeriksaan sebesar 83,3% jika dilakukan pemeriksaan terjadwal mempunyai nilai keandalan yang dapat meningkat hingga 98,8%.

Saat ini, peneliti baru hanya dapat berfokus pada komponen – komponen utama mesin, terutama komponen injector. Karena tujuan utamanya adalah meminimalkan potensi kerusakan yang tidak terpengaruh oleh *Pareto Engine* tertinggi. Agar hasilnya optimal, semua bagian data atau sebagian data di dalam mesin harus di proses, tidak hanya dibagian komponen injector.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Hasil, P. Dan, K. Ilmiah, F. Samharil, E. Ismiyah, and E. D. Priyana, “Perancangan Pemeliharaan Mesin Filter Press dengan metode FMECA dan Reliability Centered Maintenance (RCM) (Studi Kasus PT. XYZ),” *Jurnal Teknik Industri*, vol. 8, no. 2, Nov. 2022, doi:10.24014/jti.v8i2.20094.
- [2] R. Amir, “Analisis Perawatan Mesin Conveyor dengan metode Reliability Centered Maintenance (RCM),” *JUSTI Jurnal Sistem dan Teknik Industri*, vol. 3, no. 1, Okt. 2022, doi:10.30587/justicb.v3i1.4761.
- [3] M. Saefullah, F. Ali Yusuf, U. Wildan Nuryanto, “Peningkatan Produktivitas Melalui Downtime Reducing pada Industri Food & Beverage di Kabupaten Tangerang,” *MES Management Journal*, vol. 3, p. 81, Feb. 2024, doi:10.56709/mesman.v3i1.151.
- [4] S. Supriyadi, R. M. Jannah, and R. Syarifuddin, “Perencanaan Pemeliharaan Mesin Centrifugal dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance pada Perusahaan Gula Rafinasi,” *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, vol. 5, no. 2, pp. 139–147, Oct. 2018, doi: 10.24853/jisi.5.2.139-147.
- [5] R. A. Kurniawan and H. Mujayin, “Usulan Perawatan Mesin Stitching Dengan Metode Reliability Centered Maintenance,” *Jurnal Teknik Industri*, vol. 16, no. 2, pp. 83–91, Agu. 2015, doi:10.22219/JTIUMM.Vol16.No2.83-91.
- [6] James Geisbush and Samuel T. Ariaratnam, “Determining a Reliability Centered Maintenance (RCM) analysis model for large diameter prestressed concrete water pipelines,” *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, vol. 19, no. 2, pp. 069–080, May 2024, doi: 10.30574/gjeta.2024.19.2.0047.
- [7] A. L. Karimah *et al.*, “Analisis Kegagalan Material Pada Sayap Pesawat Terbang (Review),” *Jumantara Jurnal Manajemen dan Teknologi Rekayasa*, vol. 1, no. 1, Jul 2022, doi:10.28989/jumantara.v1i1.1266.

- [8] M. N. Ali, M. Dan, and A. Kusuma, "Analisa Kinerja Mesin WTP Menggunakan Metode FMEA dan Penjadwalan Preventif Maintenance," *Jurnal Teknik WAKTU*, vol. 17, no. 1, Jan. 2020, doi:10.36456/waktu.v17i1.1829.
- [9] G. Sihombing, "Analisis Penentuan Target Objektif Pemeliharaan Mesin Berdasarkan Kriteria Downtime," In *IMTechno: Journal of Industrial Engineering and Technology*, vol. 4, no. 2, Jul. 2023, <http://jurnal.bsi.ac.id/index.php/imtechno>.
- [10] D. Ar-Royyan, M. Nushron, A. Mukhtar, and A. B. Surabaya, "Perencanaan Preventive Maintenance Line Produksi dengan Metode RCM (RELIABILITY CENTERED MAINTANANCE) Di PT RAYA," *Profisiensi*, vol. 11, no. 1, Jul. 2023, doi:10.33373/profis.v11i1.5081.
- [11] I. Rizkya, I. Siregar, K. Siregar, R. Matondang, and E. W. Henri, "Reliability Centered Maintenance to Determine Priority of Machine Damage Mode," *E3S Web of Conferences*, vol. 125, Oct. 2020, doi:10.1051/e3sconf/201.
- [12] M. Syaripudin, D. Ayu Rostikawati, "Usulan Perawatan Mesin Bending 90° dengan Pendekatan Preventive Maintenance Berdasar Metode Keandalan dan FMEA Di PT. RINNAI INDONESIA-CIKUPA," *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri Jurnal Taguchi*, vol. 2, no. 2, pp. 2022–175, Dec. 2022, doi: 10.46306/tgc.v2i2.
- [13] M. R. Nafiuddin and M. N. A. Mukhtar, "Penerapan Metode FMEA dan RCM untuk Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin CNC Laser Cutting," *Jumantara Jurnal Manajemen dan Teknologi Rekayasa*, vol. 4, no. 2, p. 81, Jul. 2025, doi: 10.28989/jumantara.v4i2.3038.
- [14] A. Fitra, D. Maryadi, A. Rochim, and A. Mulyana, "A Bibliometric Analysis of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Research from 2020 to 2025," *Journal of Industrial Engineering Tridinanti*, vol. 3, no. 1, Jun. 2025, <http://jietri.univ-tridinanti.ac.id>.
- [15] A. Soedira, G. Dwi Haryadi, and K. Rozi, "Analisis Reliability Komponen Kritis Electric Submersible Axial Flow Pump Berkapasitas 2000 Liter per detik menggunakan Probability Plot dan Root Cause Analysis," In *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 10, no. 2, Apr. 2022.
- [16] E. Kurniawan, W. Gunawan, and A. Syarifudin, "Analisa Vibrasi Main Sea Water Pump dengan Metode Overall Equipment Effectiveness dan Failure Modes and Effect Analysis Di PT Krakatau Daya Listrik," *Journal Industrial Engineering & Management Research (JIEMAR)*, vol. 1, no. 2, pp. 2722–8878. Agu. 2022, doi: 10.7777/jiemar.v1i2.