

**USULAN KEBIJAKAN *MAINTENANCE* UNTUK KOMPONEN KRITIS MESIN LEAN
CARBONATE CIRCULATION PUMP C1110-JC MENGGUNAKAN METODE
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
RADICAL MAINTENANCE
(STUDI KASUS: PT XYZ)**

***THE PROPOSED POLICY MAINTENANCE FOR CRITICAL COMPONENTS OF LEAN
CARBONATE CIRCULATION PUMP C1110-JC MACHINE USING THE METHOD OF
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE BY CONSIDERING RADICAL
MAINTENANCE
(CASE STUDY: PT XYZ)***

¹Muhamad Helmi, ²Drs. Judi Alhilman, MSIE., ³Aji Pamoso, S. Si., M.T.
^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom
¹muhamadhelmi@telkomuniversity.ac.id, ²judi.alhilman@telkomuniversity.ac.id,
³humamsiddiq@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Tingginya jumlah kerusakan pada mesin tentu memiliki konsekuensi *downtime*. Hal tersebut terjadi pada mesin C1110-JC di PT XYZ yang mengalami *downtime* selama 2090,72 jam dari tahun 2016 s/d 2019. *Downtime* tersebut terjadi akibat kegagalan komponen pada mesin yang dapat mempengaruhi proses produksi. Selain itu, masih tingginya tingkat kegiatan *corrective maintenance* yang dilakukan perusahaan yaitu > 50% dari keseluruhan waktu kegiatan pemeliharaan tentu akan menyebabkan pembengkakan biaya *maintenance*. Dalam mengatasi *downtime* dan tingginya tingkat kegiatan *corrective maintenance* pada mesin C1110-JC perusahaan perlu menentukan kebijakan *maintenance* yang tepat. Metode RCM dapat diterapkan dalam menentukan *maintenance task* yang sesuai untuk komponen kritis mesin C1110-JC dengan mempertimbangkan *maintenance strategy* RM untuk mencegah akar penyebab terjadinya kegagalan dari komponen kritis mesin. Berdasarkan hasil dari penelitian ini diperoleh total 29 akar penyebab kegagalan untuk komponen kritis mesin C1110 serta tiga *scheduled restoration* task dan empat *scheduled on-condition task* dengan total biaya *maintenance* usulan untuk melakukan kegiatan pemeliharaan pada komponen kritis mesin sebesar Rp. 806.785.851. Total 29 akar penyebab kegagalan yang telah terdeteksi merupakan penyebab dari kegagalan utama pada komponen kritis mesin C1110-JC sehingga perlu dilakukan penyusunan *maintenance strategy* RM untuk mencegah akar penyebab kegagalan tersebut dengan interval waktu *maintenance* dari *scheduled restoration* task dan *scheduled on-condition task*. Hal tersebut juga berpengaruh terhadap menurunnya biaya *maintenance* karena dapat meminimasi kegiatan *corrective maintenance* yang menyebabkan pembengkakan biaya.

Kata Kunci: *Maintenance, Reliability Centered Maintenance, Radical Maintenance*

Abstract

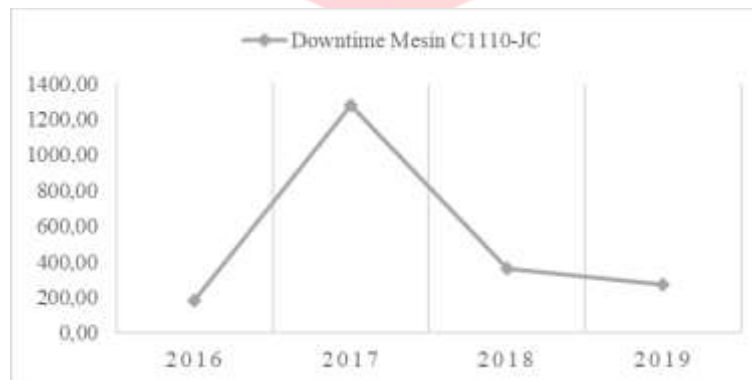
The high amount of damage to the machine certainly has downtime consequences. This happened to the C1110-JC machine at PT XYZ which experienced downtime during 2090.72 hours from 2016 to 2019. The downtime occurred due to failure of components on the machine could affect the production process. In addition, the high level of corrective maintenance activities carried out by the company which is > 50% of the total time of maintenance activities will certainly cause an increase in maintenance costs. In overcoming downtime and the high level of corrective maintenance activities on the C1110-JC machine the company needs to determine the right maintenance policy. The RCM method can be applied in determining the appropriate maintenance task for critical components of the C1110-JC machine by considering the RM maintenance strategy to prevent the root cause of failure of critical machine components. Through the application of the RCM method by considering RM the results obtained in the form of maintenance strategy RM to prevent the root cause of the failure of critical components of the C1110 machine and

maintenance tasks consisting of three scheduled restoration tasks and four scheduled on-condition tasks with a total proposed maintenance cost for critical machine components of Rp. 806,785,851. A total of 29 root causes of failure that have been detected are the main causes of the main failure of the critical components of the C1110-JC machine, so it is necessary to prepare a maintenance strategy RM to prevent the root causes of failure with maintenance time intervals from the scheduled restoration task and the scheduled on-condition task. This also has an effect on reducing maintenance costs because it can minimize corrective maintenance activities that cause cost overruns.

Keywords: *Maintenance, Reliability Centered Maintenance, Radical Maintenance*

1. Pendahuluan

PT XYZ merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam industri pupuk di Indonesia. PT XYZ mengolah bahan-bahan mentah tertentu menjadi bahan-bahan pokok yang diperlukan dalam pembuatan pupuk dan bahan kimia. Saat ini perusahaan mengoperasikan dua pabrik utama untuk memproduksi berbagai jenis pupuk dan hasil kimia yaitu pabrik 1A dan pabrik 1B di mana kedua pabrik utama tersebut memiliki masing-masing dua *plant* yaitu *plant* amonia dan *plant* urea. Penelitian ini mengambil fokus di pabrik 1A tepatnya pada *plant* amonia 1A. Dalam proses produksi pada *plant* amonia 1A terdapat sistem *benfield* yang ditunjang oleh mesin Lean Carbonate Circulation Pump C1110. Mesin C1110 sendiri dibagi menjadi tiga yaitu C1110-JA, C1110-JB dan C1110-JC di mana dalam penelitian ini akan mengkaji lebih lanjut mengenai mesin C1110-JC karena mesin tersebut merupakan mesin yang sering mengalami kerusakan. Berikut merupakan data kerusakan mesin C1110 dari tahun 2016 s/d 2019.



Gambar 1 Downtime mesin C1110-JC Tahun 2016 s/d 2019

Berdasarkan Gambar 1.2 *downtime* yang terjadi pada mesin C1110-JC selama empat tahun terakhir berjumlah 2090,72 jam yang meliputi 182,44 jam di tahun 2016, 1276,65 jam di tahun 2017, 360,63 jam di tahun 2018 dan 271 jam di tahun 2019. Data *downtime* tersebut diperoleh melalui kerusakan mesin C1110-JC yang diakibatkan oleh kegagalan komponen. *Downtime* akan mempengaruhi proses produksi pada sistem *benfield* maupun sistem-sistem selanjutnya atau jika semakin parah dapat mengakibatkan proses produksi berhenti secara keseluruhan. Selain masalah *downtime*, kegiatan *corrective maintenance* yang dilakukan perusahaan masih tinggi yaitu > 50% dari keseluruhan waktu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan menjadi permasalahan lain bagi perusahaan. Padahal tingginya tingkat kegiatan *corrective maintenance* dapat menyebabkan pembengkakan biaya *maintenance*.

Salah satu upaya dalam mengatasi masalah *downtime* dan tingginya tingkat kegiatan *corrective maintenance* adalah dengan menerapkan kebijakan *maintenance* yang tepat. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan metode yang dapat digunakan untuk menentukan kebijakan *maintenance* dengan menentukan interval waktu pemeliharaan dan mempertimbangkan karakteristik kerusakan, parameter distribusi dan biaya *maintenance*. Selain metode RCM, *Radical Maintenance* (RM) juga dapat digunakan untuk menentukan kebijakan *maintenance* dengan mendeteksi akar penyebab kegagalan kemudian mencegah akar penyebab kegagalan tersebut.

Dalam penelitian ini, implementasi metode RCM akan mempertimbangkan RM di mana dari hasil keduanya akan menghasilkan usulan kebijakan *maintenance* yang sesuai bagi perusahaan serta. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan RM dalam pengimplementasian RCM dapat membantu menetapkan sumber daya pemeliharaan secara rasional dan meningkatkan kualitas strategi pemeliharaan. Model optimasi biaya perawatan juga akan digunakan untuk menghitung pengeluaran yang diperlukan selama melakukan kebijakan *maintenance*.

2. Landasan Teori

2.1 Risk Matrix

Risk matrix adalah matriks yang digunakan selama penilaian risiko untuk menentukan tingkat risiko dengan mempertimbangkan kategori probabilitas (*likelihood*) dan kemungkinan terhadap kategori konsekuensi keparahan (*impact*). Ini adalah mekanisme sederhana untuk meningkatkan visibilitas risiko dan membantu pengambilan keputusan *maintenance* [8].

2.2 Reliability Centered Maintenance (RCM)

RCM merupakan proses menentukan tindakan yang harus dilakukan untuk memastikan beberapa sistem fisik berfungsi terus-menerus sesuai keinginan operator dalam kondisi sekarang ini [7]. Sedangkan menurut [5] RCM merupakan suatu pendekatan pada bagian perawatan yang didapat dari keandalan suatu komponen untuk mendapatkan hasil strategi perawatan terbaik.

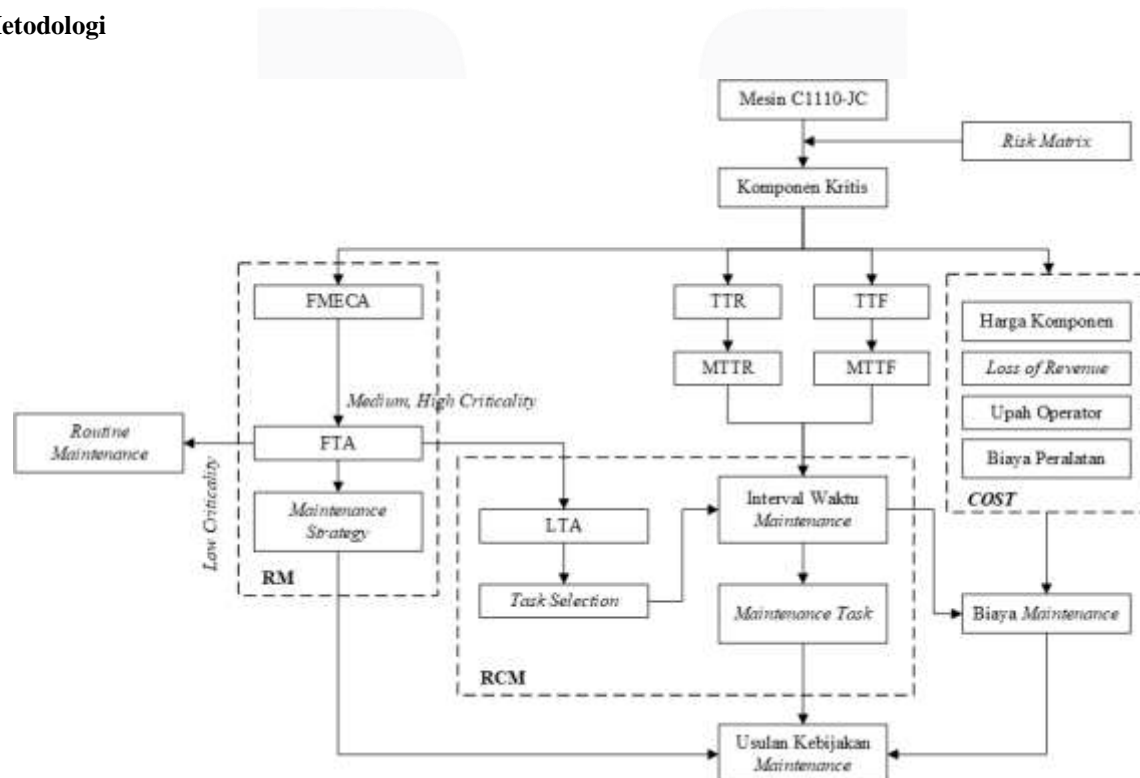
RCM fokus pada pemeliharaan fungsi-fungsi sistem dan itu sepenuhnya dijelaskan dalam empat karakteristik berikut [2].

1. Mempertahankan fungsi
2. Mengidentifikasi mode kegagalan yang dapat mengurangi fungsi
3. Memprioritaskan kebutuhan fungsi (melalui mode kegagalan)
4. Memilih tugas yang berlaku dan efektif

2.3 Radical Maintenance (RM)

RM melibatkan deteksi dan prediksi akar penyebab kegagalan lalu mengambil tindakan untuk menghilangkan akar penyebab kegagalan tersebut RM mengidentifikasi *root cause* yang merupakan faktor dasar penyebab kegagalan dengan bantuan *Root Cause Analysis* (RCA) yang ditunjang oleh *Failure Mode Effect and Criticality Analysis* (FMECA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menyusun *maintenance strategy* [6].

3 Metodologi



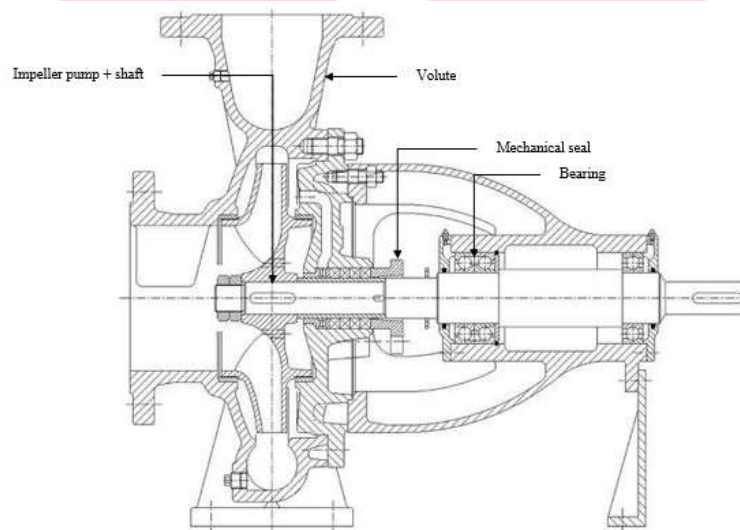
Gambar 2 Model Konseptual

Berdasarkan Gambar 2 penelitian ini berfokus pada objek mesin C1110-JC yang sering mengalami kerusakan. *Risk matrix* digunakan untuk menentukan komponen kritis mesin. RCA digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan fungsional dari komponen kritis dengan menggunakan FMECA dan FTA. FMECA merupakan gabungan dari dua metode analisis yang terpisah yaitu FMEA dan CA. FMEA dilakukan untuk menelusuri kegagalan fungsional dari komponen kritis, sedangkan CA dilakukan untuk menentukan tingkat kritikalitas dari mode kegagalan tersebut. Setelah ditentukan tingkat kritikalitasnya, hasil CA

yang menunjukkan *low criticality* tidak akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya melainkan akan tetap menggunakan kebijakan *maintenance* perusahaan, sedangkan hasil CA yang menunjukkan *medium* atau *high criticality* akan dilanjutkan ke tahap FTA sebagai *top event* untuk mendeteksi akar penyebab kegagalan dari mode kegagalan terpilih. Setelah diketahui akar penyebab kegagalannya, dilakukan penyusunan *maintenance strategy* RM untuk masing-masing komponen kritis guna mencegah akar penyebab kegagalan tersebut. LTA digunakan untuk mengklasifikasikan mode kegagalan. LTA disajikan ke dalam bentuk RCM *decision worksheet* untuk mengetahui *task selection* yang akan digunakan dalam menghitung interval waktu *maintenance* di mana kemudian akan menjadi *maintenance task*. Dalam menentukan distribusi dan parameter distribusi *Time to Repair* (TTR) dan *Time to Failure* (TTF) digunakan data kerusakan komponen kritis mesin C1110-JC yang kemudian akan menghasilkan MTTR dan MTTF. Kemudian MTTR dan MTTF digunakan untuk menghitung interval waktu *maintenance*. Untuk menghitung total biaya *maintenance* diperlukan data harga komponen, *loss of revenue*, upah operator dan biaya peralatan. *Maintenance strategy* RM, *maintenance task* dan total biaya *maintenance* inilah yang akan menjadi usulan kebijakan *maintenance* bagi perusahaan.

4. Pembahasan

4.1 System Breakdown Structure



Gambar 3 Komponen Mesin C1110 (Drakos-Polemis Pump) [3]

Dalam sistem *benfield* terdapat beberapa mesin yang beroperasi untuk memproduksi amonia. Salah satu mesin yang terdapat dalam sistem *benfield* adalah mesin C1110 yang merupakan mesin jenis pompa sentrifugal horizontal. Gambar IV.2 menunjukkan *system breakdown structure* di mana mesin C1110 dibagi menjadi tiga yaitu C1110-JA, C1110-JB dan C1110-JC. Ketiga mesin tersebut memiliki komponen-komponen penunjang yang dapat dilihat pada Gambar 3.

4.2 Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis mesin C1110-JC dilakukan dengan menggunakan *risk matrix* di mana hasil penilaian *risk matrix* dapat dilihat melalui *risk score* yang diperoleh dari perkalian antara *average consequence* dengan *likelihood*.

Tabel 1 Hasil Penilaian Risk Matrix

No	Komponen Mesin C1110-JC	Average Consequence	Likelihood	Risk Score	
1	Mechanical seal	3,5	2	7	M
2	Coupling	2,5	1	2,5	L
3	Bearing	2,5	4	10	M
4	Pump impeller + shaft (rotor)	3,5	2	7	M
5	Volute	2,25	1	2,25	L

Berdasarkan rekap penilaian *risk matrix* pada Tabel 1 diperoleh tiga komponen kritis untuk mesin C1110-JC yaitu *bearing*, *pump impeller + shaft* (rotor) dan *mechanical seal*. Ketiga komponen tersebut termasuk ke dalam kategori *medium risk* karena memiliki *risk skor* diantara 6 s/d 15 yang berarti komponen kritis

4.3 Penentuan Distribusi dan Parameter *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Penentuan distribusi data TTF dan TTR untuk komponen kritis mesin C1110-JC dilakukan dengan menggunakan uji Anderson-Darling (AD) dan *P-Value* melalui *software* Mititab 17. Penentuan distribusi harus memperhatikan nilai AD yang terkecil dengan $P\text{-value} \leq \alpha$.

Setelah menentukan distribusi untuk data TTF dan TTR komponen kritis mesin C1110-JC, selanjutnya dilakukan penentuan parameter distribusi berdasarkan hasil distribusi yang telah terpilih melalui *software* AvSim+ 9.0.

4.4 Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR)

Mean Time to Failure (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) mesin C1110-JC merupakan hasil dari parameter distribusi dan parameter yang telah diperoleh sebelumnya. Berdasarkan hasil dari penentuan distribusi yang menunjukkan bahwa distribusi secara keseluruhan adalah *Weibull*, maka digunakan persamaan berikut.

$$MTTF/MTTR = \eta \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Tabel 2 Hasil Perhitungan MTTF

No	Komponen Kritis	Distribusi Terpilih	Parameter		Γ	MTTF (jam)
			η	β		
1	<i>Bearing</i>	<i>Weibull</i>	1136,14	0,561782	1,64875	1873,21
2	<i>Impeller pump + shaft</i> (rotor)	<i>Weibull</i>	2982,1	1,04921	0,98107	2925,64
3	<i>Mechanical seal</i>	<i>Weibull</i>	2256,93	0,434074	2,69389	6079,92

Tabel 3 Hasil Perhitungan MTTR

No	Komponen Kritis	Distribusi Terpilih	Parameter		Γ	MTTR (jam)
			η	β		
1	<i>Bearing</i>	<i>Weibull</i>	26,0127	1,00918	0,99619	25,91
2	<i>Impeller pump + shaft</i> (rotor)	<i>Weibull</i>	25,2509	0,476215	2,19739	55,49
3	<i>Mechanical seal</i>	<i>Weibull</i>	12,0536	0,571783	1,60693	19,37

4.5 *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Radical Maintenance* (RM)

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

FMECA terdiri dari dua metode analisis yang terpisah yaitu FMEA dan CA. FMEA digunakan untuk mengidentifikasi sumber penyebab dari kegagalan fungsional mesin. Sedangkan CA digunakan untuk mengetahui tingkat kritikalitas dari mode kegagalan pada FMEA. Identifikasi sumber penyebab mode kegagalan mesin C1110-JC dalam penelitian ini tidak menitik beratkan pada FMEA namun didorong dengan bantuan penilaian CA. Penilaian CA dilakukan menggunakan *matrix criticality* berdasarkan *consequence* dan *probability of failure* untuk memperoleh tingkat kritikalitas *medium* dan *high criticality* dari masing-masing mode kegagalan yang kemudian akan dideteksi akar penyebab kegagalannya pada tahap FTA.

Tabel 4 Hasil Penilaian CA

No	Komponen Kritis	F	FF	FM	PF	Average Consequence	Criticality	
1	<i>Bearing</i>	1	1	1	3	1,5	4,5	L
				2	2	1,5	3	L
				3	4	2,75	11	M
			2	1	3	1,5	4,5	L
2	<i>Pump impeller + shaft (rotor)</i>	1	1	1	2	3,25	6,5	M
			2	2	4	3,25	13	M
3	<i>Mechanical seal</i>	1	1	1	3	3,75	10,5	M
			2	2	2	1,25	2,5	L
			3	3	2	3	6	M

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh lima mode kegagalan yang menunjukkan *medium criticality* di mana meliputi satu pada *bearing* serta masing-masing dua pada *impeller pump + shaft (rotor)*. Hasil pada kolom *criticality* berupa angka diperoleh melalui perkalian antara PF dengan *average consequence*. FMECA dilakukan untuk memangkas mode kegagalan untuk menyusun *maintenance strategy* RM yang lebih efisien.

4.5.2 Fault Tree Analysis (FTA)

FTA digunakan untuk mencari akar penyebab kegagalan pada komponen kritis mesin C1110-JC. Hasil FMECA yang menunjukkan *medium* dan *high criticality* dipertimbangkan sebagai *top event* dalam FTA, sedangkan *low criticality* tidak dipertimbangkan. Masing-masing *top event* akan dibuat model grafis FTA serta dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menentukan MCS dari *top event* menggunakan *boolean algebra* dengan pendekatan *mocus algorithm*, sedangkan untuk analisis kuantitatif dilakukan untuk menaksir kemungkinan atau probabilitas terjadinya *top event* menggunakan kriteria rating probabilitas dari [5]. Hasil FTA yang menunjukkan total 29 akar penyebab kegagalan dan rata-rata probabilitas terjadinya *top event* > 50% mendorong untuk disusunnya *maintenance strategy* RM untuk mencegah terjadinya akar penyebab kegagalan tersebut.

Tabel 5 Maintenance Strategy “Worn out bearing”

Symbol	Root Cause	Radical Maintenance
P1	Tidak memperhatikan <i>guide book bearing</i>	Perhatikan batas waktu penggunaan atau umur <i>bearing</i> yaitu 6 bulan untuk <i>ball bearing</i> dan 12 bulan untuk <i>angular bearing</i> .
P2	Tidak dilakukan pengecekan terhadap <i>bearing</i> secara berkala	Lakukan pengecekan kondisi <i>bearing</i> secara berkala. 1) Lakukan pengecekan pada minyak pelumas, jika minyak pelumas dalam kondisi terkontaminasi benda asing, segera lakukan pembersihan atau penggantian minyak pelumas untuk menghindari kebocoran <i>seal gland</i> .
P3	Kebocoran <i>seal gland</i>	2) Jika <i>seal</i> telah mengalami kebocoran dalam skala kecil, segera lakukan perbaikan agar kebocoran tidak semakin meluas dan lakukan penggantian jika <i>seal gland</i> telah mengalami kebocoran dalam skala besar.
P4	Pemberian minyak pelumas tidak sesuai porsi	Perhatikan pemberian minyak pelumas pada <i>bearing</i> sesuai porsi.

Tabel 6 Maintenance Strategy “Damaged vanes impeller pump”

<i>Symbol</i>	<i>Root Cause</i>	<i>Radical Maintenance</i>
S1	Kecepatan fluida terlalu tinggi	Melakukan perancangan sistem pipa pada <i>pump</i> dengan mengatur jarak minimum antara <i>suction pump</i> dengan <i>elbow</i> .
P1	Tekanan isap <i>pump</i> terlalu rendah	Periksa tekanan isap <i>pump</i> dengan menghitung <i>head total</i> pada <i>suction</i> dengan syarat $NPSHA - V_p > NPSHR$ untuk mencegah tekanan yang terlalu rendah.
P2	<i>Cover impeller pump</i> terbuka	Lakukan pengecekan pada <i>cover impeller pump</i> . Jika kondisinya terbuka, pastikan tidak ada benda asing yang masuk ke dalam sistem <i>pump</i> .
P3	Tidak teliti saat memasang <i>cover impeller pump</i>	Perhatikan pemasangan <i>cover impeller pump</i> untuk menghindari <i>cover</i> terlepas.

Tabel 7 Maintenance Strategy “High pump vibration”

<i>Symbol</i>	<i>Root Cause</i>	<i>Radical Maintenance</i>
P1	Putaran rotor > 365 rpm	Sesuaikan putaran rotor dengan dengan torsi yang dapat diterima oleh <i>shaft</i> .
P2	Kesalahan dalam pemasangan <i>shaft</i>	Periksa posisi <i>shaft</i> dengan poros putarnya, pastikan posisinya simetris untuk menghindari <i>missalignment</i> yang menyebabkan <i>vibrate</i> .
P3	<i>Natural frequency</i> sama besar dengan putaran rotor	Lakukan penyesuaian <i>natural frequency</i> dengan putaran rotor.
P4	Kesalahan dalam pemasangan baut	Perhatikan pemasangan baut untuk menghindari kerenggangan.
P5	Kesalahan dalam pemasangan <i>bearing</i>	Perhatikan pemasangan <i>bearing</i> untuk menghindari kerenggangan.
P6	Kesalahan dalam pemasangan rotor	Perhatikan pemasangan antara <i>pump impeller</i> dengan <i>shaft</i> (rotor). Pastikan posisinya simetris untuk menghindari kerenggangan.
P7	Pemberian minyak pelumas tidak sesuai porsi	Perhatikan pemberian minyak pelumas pada <i>bearing</i> sesuai porsi.

Tabel 8 Maintenance Strategy “Fretting mechanical seal”

<i>Symbol</i>	<i>Root Cause</i>	<i>Radical Maintenance</i>
P1	<i>Sealfacess</i> mengalami distorsi akibat temperatur atau tekanan yang terlalu tinggi	1. Lakukan pengecekan terhadap tekanan pada <i>mechanical seal</i> tekanan yang diterima setidaknya tidak > berat <i>mechanical seal</i> itu sendiri. 2. Perhatikan temperatur <i>mechanical seal</i> , temperatur <i>mechanical seal</i> tidak boleh > temperatur maksimal fluida yaitu 220° C.
P2	Ukuran <i>shaft</i> tidak sesuai dengan poros	Perhatikan ukuran <i>shaft</i> setidaknya diperlukan toleransi sekitar + 0,000 – 0,002 inch.
P3	Permukaan <i>shaft</i> terlalu kasar	Lakukan pengecekan terhadap kehalusan <i>shaft</i> setidaknya tingkat kehalusan <i>shaft</i> harus 32 R.M.S.
P4	Benda asing menghalangi pergerakan <i>O-ring</i>	Lakukan pengecekan secara berkala pada <i>o-ring</i> untuk memastikan tidak ada benda asing yang menghalangi pergerakannya.
P5	<i>Chemical attack</i>	Lakukan pengecekan dan pembersihan secara berkala pada <i>elastomer</i> untuk memastikan tidak ada bahan kimia yang menyebabkan <i>chemical attack</i> .
P6	Kesalahan dalam <i>setting</i> kompresi	Perhatikan <i>setting</i> kompresi. <i>Setting</i> kompresi sesuai <i>guide book</i> .
P7	Putaran rotor >365 rpm	Sesuaikan putaran rotor dengan dengan torsi yang dapat diterima oleh <i>shaft</i> .
P8	Kesalahan dalam memasang <i>shaft</i>	Periksa posisi <i>shaft</i> dengan poros putarnya, pastikan posisinya simetris.
P9	Adanya benda asing dalam <i>stuffing box</i>	Lakukan pengecekan dan pembersihan secara berkala pada <i>stuffing box</i> .
P10	Adanya partikel <i>gasket</i> yang terlepas mengenai <i>mechanical seal</i>	Lakukan pengecekan dan pembersihan secara berkala pada <i>mechanical seal</i> untuk menghilangkan partikel <i>gasket</i> .
P11	<i>Mechanical seal</i> lembab	Periksa tingkat kelembaban pada <i>mechanical seal</i> . Setidaknya tingkat kelembaban tidak lebih dari 60%.

Tabel 9 Maintenance Strategy “Fluid evaporation”

<i>Symbol</i>	<i>Root Cause</i>	<i>Radical Maintenance</i>
P1	Temperatur fluida terlalu panas	Lakukan pengecekan terhadap temperatur fluida. Temperatur fluida yang diizinkan untuk di proses tidak boleh > 220°
P2	Tekanan fluida terlalu rendah	Melakukan perancangan sistem pipa pada <i>pump</i> dengan mengatur jarak minimum antara <i>suction pump</i> dengan <i>elbow</i> .
P3	Tekanan isap <i>pump</i> terlalu rendah	Periksa tekanan isap <i>pump</i> dengan menghitung <i>head total</i> pada <i>suction</i> dengan syarat NPSHA – Vp > NPSHR untuk mencegah tekanan yang terlalu rendah.

4.6 Penentuan Interval Waktu Maintenance

Penentuan interval waktu *maintenance* diperoleh berdasarkan *task selection* terpilih untuk masing-masing komponen kritis. Terdapat dua jenis *task selection* terpilih yaitu.

1) *Scheduled on-condition task*

Perhitungan interval waktu *maintenance* untuk *scheduled on-condition task* dilakukan dengan menghitung setengah dari P-F interval dari masing-masing komponen kritis. P-F interval yang digunakan merupakan data MTTF dari setiap komponen kritis yang telah diperoleh sebelumnya.

2) *Scheduled restoration task*

Perhitungan interval waktu *maintenance* untuk *scheduled restoration task* dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$TM = \eta \times \left[\frac{C_m}{C_f(\beta-1)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

Tabel 10 Hasil Penentuan *Task Selection* dan Perhitungan Interval Waktu *Maintenance*

No	Komponen Kritis	F	FF	FM	<i>Task Selection</i>	Interval Waktu <i>Maintenance</i> (Jam)
1	<i>Bearing</i>	1	1	3	<i>Scheduled restoration task</i>	3701,77
			2	2	<i>Scheduled restoration task</i>	3701,77
2	<i>Impeller pump + shaft (rotor)</i>	1	1	1	<i>Scheduled restoration task</i>	1156,08
			2	2	<i>Scheduled on-condition task</i>	1462,82
			3	3	<i>Scheduled on-condition task</i>	1462,82
3	<i>Mechanical seal</i>	1	1	1	<i>Scheduled on-condition task</i>	3039,96
			3	3	<i>Scheduled on-condition task</i>	3039,96

Dapat dilihat pada Tabel 10 interval waktu *maintenance* untuk *scheduled on-condition task* dan *scheduled restoration task* pada masing-masing komponen kritis. Terdapat satu jenis *task* untuk *bearing* yaitu *scheduled on-condition task* dengan interval waktu 3722,1 jam, dua jenis *task* untuk *impeller pump + shaft (rotor)* yaitu *scheduled restoration task* dengan interval waktu 796,71 jam dan *scheduled on-condition task* dengan interval waktu 1462,82 jam serta satu jenis *task* untuk *mechanical seal* yaitu *scheduled on-condition task* dengan interval waktu 3039,96 jam. Rata-rata untuk interval waktu *maintenance* adalah 2463,78 jam atau 4,67 bulan untuk melakukan kegiatan pemeliharaan.

4.7 Biaya *Maintenance*

Biaya *maintenance* untuk komponen kritis mesin C1110-JC dibagi menjadi dua yaitu biaya *maintenance* aktual perusahaan dan biaya *maintenance* usulan. Pada hasil penelitian dilakukan perbandingan biaya *maintenance* untuk mengetahui apakah biaya *maintenance* usulan yang telah dibuat akan lebih baik jika dibandingkan dengan biaya *maintenance* aktual perusahaan dari segi anggaran yang harus dikeluarkan perusahaan untuk melakukan kegiatan pemeliharaan.

Tabel 15 Perbandingan Biaya *Maintenance*

No	Komponen Kritis	F	FF	FM	Biaya <i>Maintenance</i>	
					Aktual Perusahaan	Usulan
1	<i>Bearing</i>	1	1	3	Rp. 369.776.848,5	Rp. 67.232.154
			2	2	Rp. 369.776.848,5	Rp. 67.232.154
2	<i>Impeller pump + shaft (rotor)</i>	1	1	1	Rp. 268.928.617,1	Rp. 168.080.386
			2	2	Rp. 201.696.462,8	Rp. 134.464.309
			3	3	Rp. 201.696.462,8	Rp. 134.464.309
3	<i>Mechanical seal</i>	1	1	1	Rp. 201.696.462,8	Rp. 67.232.154
			3	3	Rp. 134.464.398,6	Rp. 67.232.154
Total Biaya <i>Maintenance</i>					Rp. 1.748.036.011	Rp. 705.937.620

Tabel V.6 menunjukkan perbandingan biaya antara biaya *maintenance* aktual perusahaan dengan biaya *maintenance* usulan untuk komponen kritis mesin C1110-JC. Total biaya *maintenance* aktual perusahaan dalam satu tahun sebesar Rp. 1.748.036.011 sedangkan biaya *maintenance* usulan sebesar Rp. 806.785.851. Selisih antara kedua biaya *maintenance* tersebut adalah Rp. 941.250.160 di mana biaya *maintenance* usulan lebih murah dari segi anggaran dibandingkan biaya *maintenance* aktual perusahaan. Selisih tersebut dikarenakan adanya frekuensi kegiatan pemeliharaan yang berbeda.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penilaian *risk matrix*, diperoleh tiga komponen kritis mesin C1110-JC yaitu *bearing*, *impeller pump + shaft (rotor)* dan *mechanical seal*. Ketiga komponen tersebut termasuk dalam kategori *medium* dalam penilaian *risk matrix* yang berarti termasuk ke dalam komponen kritis. Melalui penerapan metode RCM dengan mempertimbangkan RM diperoleh hasil *maintenance strategy* RM dan *maintenance task* sebagai usulan kebijakan *maintenance* komponen kritis mesin C1110-JC. *Maintenance strategy* RM terdiri dari total 29 akar penyebab kegagalan komponen kritis mesin C1110-JC dan cara mengatasi akar penyebab kegagalan tersebut. Sedangkan *maintenance task* terdiri dari tiga *scheduled restoration task* dan empat *scheduled on-condition task* dengan rata-rata interval waktu *maintenance* untuk melakukan kegiatan pemeliharaan adalah 2463,78 jam atau 4,67 bulan. Hasil

perhitungan total biaya *maintenance* komponen kritis mesin C1110-JC yang berdasarkan *maintenance task* menunjukkan bahwa biaya *maintenance* usulan sebesar Rp. 806.785.851. Biaya *maintenance* usulan lebih baik dari segi keandalan karena kegiatan pemeliharaan dilakukan berdasarkan interval waktu yang telah ditentukan.

6. Daftar Pustaka

- [1] Alhilman, J., Saedudin, R., Dwi Atmaji, F., & Suryabrata, A. (2015). *LCC application for estimating total maintenance crew and optimal age of BTS component*. <https://doi.org/10.1109/ICoICT.2015.7231483>
- [2] Braglia, M., Castellano, D. and Frosolini, M. (2013). An integer linear programming approach to maintenance strategies selection. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 30(9), p. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2012-0059>
- [3] Drakos-Polemis Pump. (n.d.). *Engineered Pumping Technology*. Retrieved from <https://www.dppumpsgroup.com>
- [4] Kim Heldman. (2005). *PMP: Project Management Professional Study Guide, 3rd Edition*. Sybex (1700).
- [5] Kurniawan, F. (2013). *Manajemen Perawatan Industri : Teknik dan Aplikasi Implementasi Total Productive Maintenance (TPM), Preventive Maintenance dan Reability Centered Maintenance (RCM)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] Li, D., & Gao, J. (2010). Study and application of Reliability-centered Maintenance considering Radical Maintenance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23(5), 622–629. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.06.008>
- [7] Moubray, J. (1997). *Reliability-centred maintenance, Fuel and Energy Abstracts*.
- [8] Putra, G. A., Budiasih, E., & Pamoso, A. (2014). *PENERAPAN METODE RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE DAN RISK- BASED MAINTENANCE UNTUK USULAN KEBIJAKAN MAINTENANCE KOMPONEN KRITIS SISTEM REFORMER (STUDI KASUS: PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR) APPLICATION OF RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE AND RISK- BASED MA.*