

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 MAINTENANCE* METHODS FOR *MAINTENANCE* POLICY PROPOSAL CRITICAL COMPONENTS OF *REFORMER* SYSTEM (CASE STUDY: PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR)

Grahesa Adri Putra¹, Endang Budiasih², Aji Pamoso³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹grahesaap@gmail.com, ²endangbudiasih@telkomuniversity.ac.id, ³aji_p9juli@yahoo.com

Abstrak

PT Pupuk Kalimantan Timur merupakan perusahaan penghasil amonia dan urea terbesar di Indonesia, dengan kapasitas produksi mencapai 2,76 juta ton amonia dan 3,43 juta ton urea. PT Pupuk Kalimantan Timur mengoperasikan masing-masing 5 unit pabrik untuk memproduksi amonia dan urea, serta terdapat 4 unit pabrik utilitas yang berfungsi menyediakan listrik, *steam*, dan air. Tiap pabrik terbagi menjadi 5 zona (K-1A, K-2, K-3, K-4, K-5) sesuai dengan lokasinya masing-masing.

Dalam dua tahun terakhir, pabrik amonia di zona K-4 memiliki rata-rata jumlah produksi amonia yang paling rendah dikarenakan tingginya tingkat *corrective maintenance* pada pabrik tersebut. Sistem yang paling krusial dalam proses produksi amonia adalah sistem *reformer*, sistem ini bertugas untuk mereaksikan gas alam terdesulfurisasi dengan *steam* dan udara yang kemudian menghasilkan gas hidrogen sebagai komposisi pembuatan amonia. Maka dari itu diperlukan kebijakan *maintenance* yang sesuai untuk sistem *reformer*.

Dengan menggunakan *risk matrix* diperoleh AT-2002, PDT-2014, dan PV-2001 sebagai komponen kritis terpilih. Kemudian ditentukan kebijakan *maintenance*, total biaya *maintenance*, dan risikonya menggunakan metode *reliability-centered maintenance* dan *risk-based maintenance*. Berdasarkan hasil pengumpulan dan pengolahan data, diperoleh 6 *scheduled on-condition tasks*, dan 4 *scheduled restoration tasks* dengan interval waktu *maintenance* sesuai kategori *task*-nya, total biaya *maintenance* usulan sebesar Rp 159.702.111, dengan risiko sebesar Rp 82.754.935.

Kata kunci: *maintenance, reliability-centered maintenance, risk-based maintenance.*

Abstract

PT Pupuk Kalimantan Timur is the largest ammonia and urea producer in Indonesia, with a production capacity of 2,76 million tons of ammonia and 3,43 million tons of urea. PT Pupuk Kalimantan Timur operates 5 units of plants for the production of ammonia and urea, and there are 4 units of utility plants that provide electricity, steam and water. Each plant is divided into 5 zones (K-1A, K-2, K-3, K-4, K-5) according to their respective location.

In the last two years, the ammonia plant in the K-4 zone has the lowest average ammonia production rate due to the high corrective maintenance level at the plant. The most crucial system in the process of ammonia production is the reformer system, the system which is responsible in reacting the sulfurized natural gas with steam and air which then produces hydrogen gas as an ammonia making composition. Therefore, an appropriate maintenance policy is required in the reformer system.

By using the risk matrix, AT-2002, PDT-2014, and PV-2001 are obtained as the selected critical components. Then the maintenance policy, total maintenance costs, and risks are determined using the method of reliability-centered maintenance and risk-based maintenance. Based on the results of collecting and processing the data, there are 6 scheduled on-condition tasks, and 4 scheduled restoration tasks with maintenance time interval in accordance to their task category, a total maintenance cost of Rp 159.702.111 with the risk as much as Rp 82.754.935.

Keywords: *maintenance, reliability-centered maintenance, risk-based maintenance.*

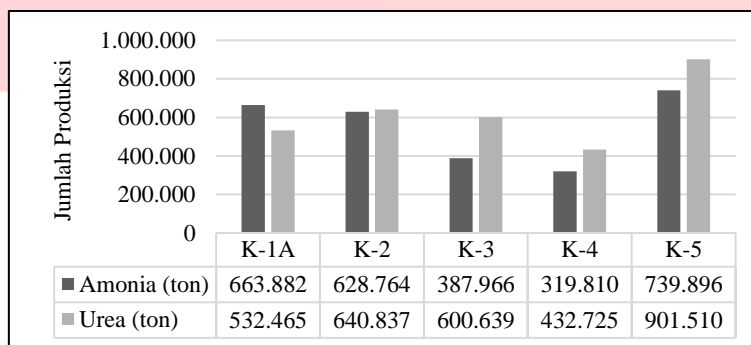
1. Pendahuluan

PT Pupuk Kalimantan Timur merupakan perusahaan penghasil amonia dan urea terbesar di Indonesia, dengan kapasitas produksi mencapai 2,76 juta ton amonia dan 3,43 juta ton urea [1]. Saat ini PT Pupuk Kalimantan Timur mengoperasikan masing-masing lima unit pabrik untuk produksi amonia dan urea, serta terdapat empat unit pabrik utilitas yang berfungsi untuk menyediakan listrik, *steam*, dan air. Setiap pabrik terbagi menjadi lima zona seperti berikut:

Tabel 1. Pembagian Pabrik Berdasarkan 5 Zona

Zona	K-1A	K-2	K-3	K-4	K-5
	Amonia	Amonia	Amonia	Amonia	Amonia
Pabrik	Urea	Urea	Urea	Urea	Urea
		Utilitas	Utilitas	Utilitas	Utilitas

Berikut merupakan rata-rata jumlah produksi amonia dan urea dengan satuan ton dari tiap pabrik pada rentang tahun 2016-2017:



Gambar 1. Rata-rata Jumlah Produksi Amonia dan Urea Tahun 2016-2017

Dari grafik tersebut diketahui bahwa pabrik amonia dan urea di zona K-4 memiliki jumlah produksi yang paling rendah jika dibandingkan dengan pabrik amonia dan urea di zona lainnya. Berdasarkan hasil wawancara dengan *maintenance planner* perusahaan, hal tersebut dapat terjadi karena tingginya tingkat kegiatan *corrective maintenance* pada pabrik amonia dan urea di zona K-4. Salah satu upaya perusahaan dalam mengurangi tingginya tingkat *corrective maintenance* adalah dengan mengimplementasi metode RCM (*Reliability-Centered Maintenance*) dalam sistem manajemen *maintenance*-nya.

Di antara pabrik amonia dan urea di zona K-4, penulis disarankan pihak perusahaan untuk mengambil lokasi penelitian di pabrik amonia dengan alasan beberapa aset fisik yang terdapat pada pabrik tersebut masih belum diterapkan metode RCM. Pabrik amonia zona K-4 terdiri dari enam sistem utama sebagai berikut [2]:

- Sistem *desulphurization*
- Sistem *reformer*
- Sistem *shift converter*
- Sistem *CO₂ removal*
- Sistem *methanation*
- Sistem *ammonia synthesis loop*

Dari keseluruhan sistem di atas, sistem yang memiliki peranan paling penting dalam proses produksi amonia adalah sistem *reformer*, karena sistem ini bertugas untuk mereaksikan gas alam terdesulfurisasi dengan *steam* dan udara yang nantinya akan menghasilkan gas hidrogen sebagai salah satu komposisi pembuatan amonia. Dengan mempertimbangkan krusialnya tugas sistem *reformer* pada proses produksi amonia di pabrik amonia zona K-4, dan ditambah lagi dengan informasi dari perusahaan bahwa sistem tersebut termasuk kepada aset fisik pabrik yang belum diterapkan metode RCM, maka penulis memilih sistem *reformer* sebagai objek penelitian.

Selanjutnya dilakukan perkiraan dan evaluasi risiko pada objek penelitian melalui pengukuran kuantitatif menggunakan metode RBM (*Risk-Based Maintenance*). Apabila risiko yang diperoleh melewati batas toleransi risiko perusahaan, barulah kemudian dilakukan perencanaan *maintenance* lebih lanjut melalui pengukuran kualitatif menggunakan metode RCM, untuk mengetahui kebijakan *maintenance* objek penelitian yang lebih sesuai, sehingga dapat membantu dalam menekan tingginya tingkat kegiatan *corrective maintenance* pada pabrik amonia zona K-4; *down time* menurun, performa pabrik meningkat, memperkecil peluang perusahaan untuk mengalami kerugian finansial dari terjadinya *loss production*.

2. Dasar Teori dan Model Konseptual

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Maintenance

Maintenance adalah semua tindakan yang diperlukan untuk mengembalikan suatu sistem kepada kondisi semula [3]. *Maintenance* dilakukan dengan tujuan untuk memastikan segala aset fisik mampu memenuhi fungsi yang diharapkan [4]. *Maintenance* juga memastikan keamanan setiap orang yang menggunakan fasilitas tersebut [5].

2.1.1.1 Corrective Maintenance

Corrective maintenance merupakan kegiatan *maintenance* yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan pada suatu sistem untuk mengembalikan sistem ke fungsi awal. Kegiatan ini bersifat tidak terjadwal, yang berarti tergantung pada kondisi sistem tersebut [6].

2.1.1.2 Preventive Maintenance

Preventive maintenance adalah kegiatan *maintenance* yang dilakukan sebelum suatu sistem mengalami kerusakan dan bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan fungsi [6]. Memiliki tujuan sebagai berikut:

- Mencegah atau meminimasi terjadinya kerusakan.
- Mendeteksi apabila terjadinya kerusakan.
- Menemukan kerusakan yang tersembunyi.
- Meningkatkan *reliability* dan *availability* pada sistem tersebut.

2.1.2 RBM (Risk-Based Maintenance)

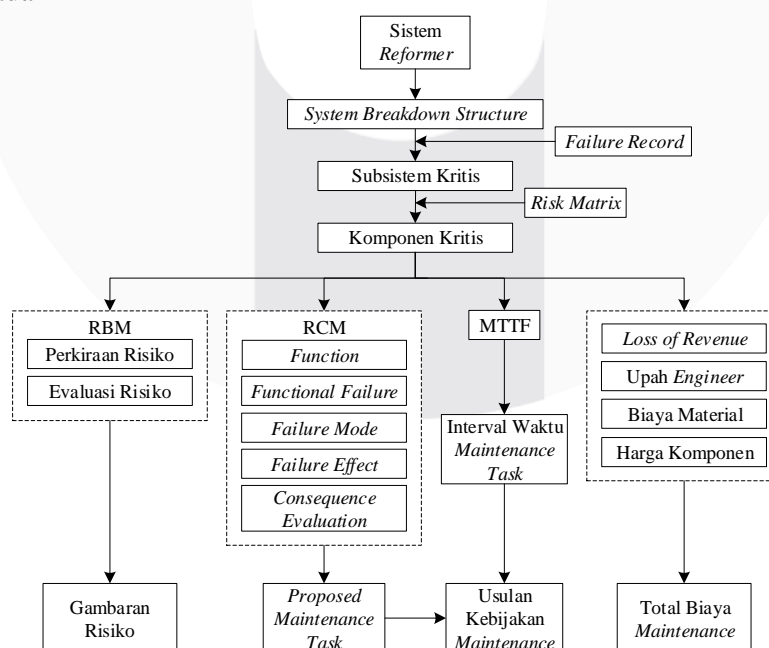
RBM merupakan suatu pengukuran kuantitatif hasil integrasi antara pendekatan *reliability* dengan strategi pendekatan risiko; bertujuan untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan akibat kerusakan yang terjadi pada suatu sistem. Nilai kuantitatif dari risiko merupakan dasar untuk memprioritaskan kegiatan *maintenance* dan inspeksi [7].

2.1.3 RCM (Reliability-Centered Maintenance)

RCM didefinisikan sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan kebutuhan *maintenance* pada aset fisik di dalam konteks operasionalnya [4]. Beberapa tujuan utama dari RCM adalah sebagai berikut:

- Untuk membangun prioritas berkaitan dengan desain yang dapat mendukung kegiatan *preventive maintenance*.
- Untuk mendapatkan informasi yang bermanfaat dalam meningkatkan desain komponen yang *reliability*-nya tidak memuaskan.
- Untuk mengembangkan kegiatan-kegiatan yang berkaitan dengan *preventive maintenance* yang dapat mengembalikan kembali *reliability* dan keamanan suatu sistem pada tingkat yang sesungguhnya ketika sistem tersebut mengalami kemunduran.
- Untuk mencapai tujuan-tujuan di atas pada total biaya minimum.

2.2 Model Konseptual



Gambar 2. Model Konseptual

Berdasarkan Gambar 2, diketahui sistem *reformer* merupakan objek penelitian yang kemudian dilakukan *system breakdown structure* padanya. Setelah itu, dengan meninjau *failure record* dari sistem *reformer*, ditentukan subsistem kritis terpilih; untuk menentukan komponen kritisnya digunakan metode *risk matrix*. Selanjutnya adalah pengukuran kuantitatif menggunakan metode RBM untuk mengetahui gambaran risiko yang akan ditanggung perusahaan jika terjadi kerusakan [8]. Metode RBM diawali dengan tahap melakukan perkiraan risiko, yang dilanjutkan dengan tahap evaluasi risiko.

Untuk pengukuran kualitatif digunakan metode RCM dengan menentukan *function*, *functional failure*, *failure mode*, *failure effect*, dan *consequence evaluation* dari masing-masing komponen kritis, yang nantinya akan menghasilkan *proposed maintenance task* atau usulan kegiatan *maintenance*. Guna mengetahui interval waktu *maintenance task* dibutuhkan data MTTF dari tiap komponen kritis. *Proposed maintenance task* beserta interval waktu *maintenance task* inilah yang akan dijadikan usulan kepada perusahaan dalam penentuan kebijakan *maintenance*-nya. Terakhir adalah perhitungan total biaya *maintenance*. Untuk menghitung total biaya *maintenance* dibutuhkan beberapa data variabel seperti data *loss of revenue*, data upah *engineer*, data biaya material, dan data harga komponen.

3. Pembahasan

Pada tahap pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data. Data-data yang dibutuhkan adalah deskripsi sistem *reformer*, DT, TTF, TTR tiap komponen kritis sistem *reformer*, kegiatan *maintenance* sistem *reformer*, *loss of revenue*, upah *engineer*, biaya material, dan harga komponen. Selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan tahapan sesuai model konseptual yang telah dijelaskan sebelumnya.

3.1 Penentuan Komponen Kritis

Sebelum menentukan komponen kritis, terlebih dahulu perlu dilakukan penentuan subsistem kritis dengan mempertimbangkan *failure record*. Data *failure record* yang digunakan itu data *failure record* subsistem *reformer* dari tahun 2015-2017. Data ini diperoleh dari Departemen *Maintenance* PT Pupuk Kalimantan Timur.

Tabel 2. Frekuensi Kerusakan Tiap Subsistem *Reformer*

Subsistem	Frekuensi Kerusakan	Persentase
1-H-201	26	72%
1-R-203	10	28%
Jumlah	36	100%

Berdasarkan Tabel 2 diperoleh bahwa subsistem dengan frekuensi kerusakan tertinggi adalah subsistem 1-H-201 dengan jumlah kerusakan 26 kali atau 72%. Kemudian dengan menggunakan metode *risk matrix* diperoleh komponen kritis subsistem 1-H-201 sebagai berikut:

- AT-2002 (*local alarm transmitter*)
- PDT-2014 (*local pressure differentiation transmitter*)
- PV-2001 (*local pressure control valve*)

3.2 Penentuan Distribusi dan Parameter Distribusi Data TTF dan TTR

Penentuan distribusi data TTF dan TTR dilakukan dengan menggunakan uji AD (Anderson-Darling). Penentuan distribusi dilakukan dengan melihat nilai AD yang terkecil dengan nilai *P-value* yang lebih besar dari α [9]. Nilai AD dan nilai *P-value* diperoleh menggunakan bantuan *software* Minitab 17. Setelah menentukan distribusi untuk data TTF dan TTR dari tiap komponen kritis, selanjutnya dilakukan penentuan parameter berdasarkan distribusi terpilih dari data TTF dan TTR setiap komponen kritis. Parameter berupa nilai η dan β diperoleh menggunakan bantuan *software* AvSim+ 9.0.

3.3 Perhitungan MTTF dan MTTR

Setelah menentukan distribusi serta parameter untuk data TTF dan TTR dari tiap komponen kritis, selanjutnya dilakukan perhitungan MTTF dan MTTR. Jika pada komponen kritis terpilih distribusi normal atau eksponensial maka η merupakan MTTF dari komponen kritis tersebut. Namun jika komponen kritis memiliki distribusi Weibull maka perlu menggunakan persamaan seperti berikut [10]:

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

Tabel 3. Hasil Perhitungan MTTF

Komponen	Distribusi	Parameter		$1+(1/\beta)$	Γ	MTTF (Jam)
AT-2002	Weibull	η	2954,51	1,504393265	0,886376994	2618,81
		β	1,98258			
PDT-2014	Weibull	η	1239,72	2,842839004	1,738637345	2115,42
		β	0,542641			
PV-2001	Weibull	η	2789,58	2,621192225	1,452713139	4052,46
		β	0,61683			

Tabel 4. Hasil Perhitungan MTTR

Komponen	Distribusi	Parameter		$1+(1/\beta)$	Γ	MTTR (Jam)
AT-2002	Weibull	η	1,70395	1,169365506	0,926892583	1,70
		β	5,90439			
PDT-2014	Weibull	η	2,14263	1,307111159	0,896417203	2,14
		β	3,25615			
PV-2001	Weibull	η	2,80309	1,459202182	0,885605726	2,48
		β	2,17769			

3.4 RBM

3.4.1 Perkiraan Risiko

Dalam melakukan perkiraan risiko terdapat tiga tahapan yang perlu dilakukan yaitu: menghitung *probability of failure*, menghitung *consequence of failure*, dan menghitung nilai risiko.

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Probability of Failure*

Komponen	Parameter Distribusi		T (Jam)	R (T)	Q (T)
	η	β			
AT-2002	2954,51	1,98258	2112	0,59810302	0,40189698
PDT-2014	1239,72	0,542641		0,26310175	0,73689825
PV-2001	2789,58	0,61683		0,43072505	0,56927495

T atau periode merupakan total waktu operasi sistem *reformer* dalam satu tahun. Parameter distribusi yang digunakan adalah nilai parameter distribusi data TTF yang telah didapatkan sebelumnya. *Probability of failure* dilambangkan Q (T); diperoleh dari hasil $1 - R (T)$. Adapun nilai R (T) diperoleh menggunakan persamaan [10]:

$$R (T) = e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta} \quad (2)$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan *Consequence of Failure*

Komponen	<i>System Performance Loss</i>
AT-2002	Rp 28.857.504
PDT-2014	Rp 50.399.270
PV-2001	Rp 59.756.814

System performance loss = (MDT (*Mean Down Time*) \times *Loss of revenue*) + (MTTR \times Upah *engineer*) + Biaya material + Harga komponen.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Risiko

Komponen	Q (T)	<i>System Performance Loss</i>	Risiko
AT-2002	0,40189683	Rp 28.857.504	Rp 11.597.744
PDT-2014	0,736898245	Rp 50.399.270	Rp 37.139.134
PV-2001	0,569274951	Rp 59.756.814	Rp 34.018.057
Total Risiko (Rp)			Rp 82.754.935

Nilai risiko diperoleh dengan mengalikan nilai Q (T) dengan nilai *system performance loss* [8].

3.4.2 Evaluasi Risiko

Tabel 8. Evaluasi Risiko

Kapasitas Produksi	Total Risiko	Persentase	Batas Toleransi Risiko
Rp 17.198.671.111	Rp 82.754.935	0,5%	0,3%

Dari Tabel 8 diketahui bahwa persentase risiko yang akan ditanggung oleh perusahaan sebesar 0,5% dari kapasitas produksi, padahal batas toleransi risiko yang ditetapkan perusahaan hanya 0,3% untuk subsistem 1-H-201. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan *maintenance* lebih lanjut yang bertujuan untuk mengurangi risiko sehingga tidak melewati batas toleransi risiko perusahaan.

3.5 RCM

Guna menindaklanjuti hasil dari evaluasi risiko pada tahap sebelumnya, dilakukan perencanaan *maintenance* lebih lanjut menggunakan metode RCM. Keluaran yang akan diperoleh dari hasil penerapan metode RCM ini adalah usulan kebijakan *maintenance* bagi tiap komponen kritis beserta interval waktu *maintenance*-nya yang sesuai.

3.5.1 RCM Information Worksheet

RCM *information worksheet* berisi *function*, *functional failure*, *failure mode*, dan *failure effect* dari tiap komponen kritis secara lengkap. Proses pengerjaan RCM *information worksheet* ini berdasarkan hasil wawancara dan analisa bersama *maintenance engineer* perusahaan.

3.5.2 RCM Decision Worksheet

RCM *Decision Worksheet* berisi *consequence evaluation* dan *proposed maintenance task* yang digunakan untuk menentukan keputusan akhir tentang kegiatan *maintenance* apa yang perlu dilakukan terkait kerusakan yang terjadi [11].

3.6 Penentuan Interval Waktu Preventive Maintenance Task

3.6.1 Scheduled On-condition Task

Perhitungan interval *scheduled on-condition task* dilakukan dengan menghitung 1/2 dari P-F Interval masing-masing komponen tersebut [4]. P-F interval yang digunakan merupakan data MTTF dari tiap komponen kritis yang telah dihitung sebelumnya.

Tabel 9. Interval Waktu *Scheduled On-condition Task* Tiap Komponen Kritis

Komponen	Information Reference			P-F Interval (MTTF)	Interval (Jam)
	F	FF	FM		
AT-2002	1	A	1	2618,81	1309,40
	2	A	1	2618,81	1309,40
PDT-2014	1	A	2	2155,42	1077,71
PV-2001	1	A	1	4052,46	2026,23
			2	4052,46	2026,23
	2	A	1	4052,46	2026,23

3.6.2 Scheduled Restoration Task

Perhitungan interval *scheduled restoration task* dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$TM = \eta \times \left[\frac{C_m}{C_f(\beta-1)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (3)$$

Tabel 10. Interval Waktu *Scheduled Restoration Task* Tiap Komponen Kritis

Komponen	Information Reference			η	β	C_m	C_f	Interval (Jam)
	F	FF	FM					
AT-2002	2	A	2	2954,51	1,98258	Rp 9.394.242	Rp 13.928.074	2443,82
			3	2954,51	1,98258	Rp 9.394.242	Rp 13.928.074	2443,82
PDT-2014	1	A	1	1239,72	0,542641	Rp 9.394.242	Rp 17.513.840	1662,99
PV-2001	1	A	3	2789,58	0,61683	Rp 9.394.242	Rp 20.291.384	3790,82

3.7 Biaya Maintenance

Biaya *Maintenance* didapatkan melalui perkalian antara C_m atau *cost maintenance* dengan F_m atau frekuensi *maintenance* [12].

3.7.1 Biaya Maintenance Aktual Perusahaan

Tabel 11. Biaya *Maintenance* Aktual Perusahaan

Komponen	Information Reference			C_m	F_m	Biaya
	F	FF	FM			
AT-2002	1	A	1	Rp 9.394.242	3	Rp 28.182.725
	2	A	1	Rp 9.394.242	3	Rp 28.182.725
			2	Rp 9.394.242	2	Rp 18.788.484
			3	Rp 9.394.242	1	Rp 9.394.242
PDT-2014	1	A	1	Rp 9.394.242	2	Rp 18.788.484
			2	Rp 9.394.242	3	Rp 28.182.725
PV-2001	1	A	1	Rp 9.394.242	3	Rp 28.182.725
			2	Rp 9.394.242	3	Rp 28.182.725
			3	Rp 9.394.242	2	Rp 18.788.484
	2	A	1	Rp 9.394.242	3	Rp 28.182.725
Total Biaya						Rp 234.856.046

3.7.2 Biaya Maintenance Usulan

Tabel 12. Biaya *Maintenance* Usulan

Komponen	Information Reference			C_m	F_m	Biaya
	F	FF	FM			
AT-2002	1	A	1	Rp 9.394.242	2	Rp 18.788.484
	2	A	1	Rp 9.394.242	2	Rp 18.788.484
			2	Rp 9.394.242	1	Rp 9.394.242
			3	Rp 9.394.242	1	Rp 9.394.242
PDT-2014	1	A	1	Rp 9.394.242	2	Rp 18.788.484
			2	Rp 9.394.242	2	Rp 18.788.484
PV-2001	1	A	1	Rp 9.394.242	2	Rp 18.788.484
			2	Rp 9.394.242	2	Rp 18.788.484
			3	Rp 9.394.242	1	Rp 9.394.242
	2	A	1	Rp 9.394.242	2	Rp 18.788.484
Total Biaya						Rp 159.702.111

4. Kesimpulan

Melalui pengukuran kuantitatif menggunakan metode RBM, diperoleh nilai risiko dari kemungkinan terjadinya kerusakan komponen kritis sistem *reformer* sebesar Rp 82.754.935. Kemudian melalui pengukuran kualitatif menggunakan metode RCM diperoleh 10 *proposed maintenance tasks* dalam bentuk *preventive maintenance task* yang terdiri dari 6 *schedule on-condition tasks* dan 4 *schedule restoration tasks*; dengan rata-rata interval waktu *preventive maintenance task* selama empat bulan sekali. Hasil inilah yang akan dijadikan sebagai usulan kebijakan *maintenance* komponen kritis sistem *reformer*. Adapun total biaya *maintenance* usulan yang diperoleh berdasarkan *proposed maintenance task* dan interval waktunya adalah sebesar Rp 159.702.111, memiliki nominal lebih rendah mencapai Rp 75.153.935 jika dibandingkan dengan biaya *maintenance* aktual perusahaan yang sebesar Rp 234.856.046.

Daftar Pustaka

- [1] Pupukkaltim, "Profil Bisnis," 2017. [Daring]. Tersedia pada: <http://www.pupukkaltim.com/id/perusahaan-profil-bisnis>. [Diakses: 27-Apr-2018].
- [2] Scribd, "Tahapan Proses Pembuatan Pupuk (PT Pupuk Kalimantan Timur)," 2016. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.scribd.com/doc/314710694/Tahapan-Proses-Pembuatan-Pupuk-PT-Kaltim>. [Diakses: 29-Apr-2018].
- [3] B. Dhillon, *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. 2002.
- [4] J. Moubray, *Reliability-centred maintenance*. 1997.
- [5] R. R. Saedudin, J. Alhilman, dan F. T. D. Atmaji, "Optimization Of Preventive Maintenance Program And Total Site Crew For Base Transceiver Station(BTS) Using Reliability Centered Maintenance (RCM) And Life Cycle Cost (LCC) Method," *Int. Semin. Ind. Eng. Manag.*, hal. 21–27, 2015.
- [6] A. C. Márquez, *The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [7] F. I. Khan dan M. M. Haddara, "Risk-based maintenance (RBM): A quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning," *J. Loss Prev. Process Ind.*, 2003.
- [8] D. S. Dhamayanti, J. Alhilman, dan N. Athari, "Usulan Preventive Maintenance Pada Mesin KOMORI LS440 dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM II) dan Risk Based Maintenance (RBM) di PT ABC," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 3, no. April, hal. 31–37, 2016.
- [9] I. Praesita, J. Alhilman, dan Nopendri, "Penilaian Kinerja Berbasis Reliability pada Continuous Casting Machine 3 (CCM 3) PT Krakatau Steel (Persero) Tbk Menggunakan Metode Reliability Availability Maintainability dan Cost of Unreliability," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 4, no. 2, hal. 2884–2891, 2017.
- [10] C. E. Ebeling, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. McGraw Hill, 1997.
- [11] I. B. Pamungkas, H. Rachmat, dan A. Kurniawati, "Pengembangan Program Preventive Maintenance Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM II) Dan Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Di Plant Ammonia Pt Pupuk Kujang 1a," *J. Rekayasa dan Sist. Ind.*, vol. 1, no. Rcm II, hal. 99–105, 2014.
- [12] T. J. Havard, *Determination of a Cost Optimal, Predetermined Maintenance Schedule*. 2000.