

OPTIMASI *PREVENTIVE MAINTENANCE* SUBSISTEM KRITIS MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* DAN PERHITUNGAN KEBUTUHAN *SPARE PART* MENGGUNAKAN METODE *ASSURANCE LEVEL* DI UNIT 15 RCC PT PERTAMINA UP VI BALONGAN

PREVENTIVE MAINTENANCE OPTIMATION OF CRITICAL SUBSYSTEM USING RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE AND CALCULATION OF REQUIRED SPARE PARTS USING ASSURANCE LEVEL METHOD IN RCC UNIT 15 PT PERTAMINA RU VI BALONGAN

Bambang Tejo Kusumo¹, Rohmat Saedudin², Fransiskus Tatas Dwi Atmaji³

¹²³Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹bambangtejokusumo@gmail.com, ²roja2128@gmail.com, ³frans.tatas@gmail.com

Abstrak

Unit RCC PT Pertamina UP VI Balongan melakukan proses kilang minyak tingkat lanjut dengan cara perengkahan memakai katalis dengan temperatur dan tekanan yang tinggi. Sehingga dapat berisiko dan membahayakan operator maupun lingkungan sekitar. Metode *Reliability Centered Maintenance* digunakan untuk melakukan perancangan kegiatan perawatan secara optimal dengan bertujuan menghasilkan kegiatan perawatan yang efektif dan efisien. Untuk mendukung kegiatan *preventive maintenance* yang optimal diperlukan perhitungan kebutuhan *spare parts* dengan menjamin ketersediaan *spare parts* sesuai umur pemakaiannya. Pada hasil pengolahan data di unit RCC dipilih *Reactor-regenerator System* sebagai sistem kritis yang memiliki 33 *equipment*. Selanjutnya dipilih 19 *equipment* kritis kemudian diperoleh empat subsistem yang memiliki *equipment* kritis, yaitu *Catalyst Handling System*, *Steam Controlling*, *Catalyst Cooler*, dan *Regenerator Air System*. Dari *equipment* kritis tersebut dilakukan kebijakan *preventive maintenance* dengan jenis kegiatan perawatan *Scheduled On Condition Task* sebanyak 34 kegiatan perawatan, *Scheduled Restoration Task* sebanyak tujuh kegiatan perawatan, dan *Scheduled Discard Task* sebanyak lima kegiatan perawatan. Dan interval perawatan dari 1.440 jam sampai 6.382,98 jam. Dari hasil kebijakan dan interval perawatan tersebut dapat diperoleh jumlah biaya perawatan setiap tahun sebesar Rp. 1.746.176.131. Dari 19 *equipment* tersebut terdapat 43 komponen yang dihitung jumlah kebutuhan *spare part* diantaranya 37 *spare part non-repairable* dan empat *spare part repairable* dengan jumlah kebutuhan satu sampai 22 buah *spare part*.

Kata kunci: *Reliability Centered Maintenance*, *Spare Part*, *Preventive Maintenance*

Abstract

RCC Unit PT Pertamina RU VI Balongan performs an advance refinery process by cracking catalyst in high temperatures and pressures. It can be risky and endanger the operator and also the surrounding environment. Reliability Centered Maintenance method is used to design maintenance activities optimally with the purpose to get the effective and efficient maintenance. To support the optimal preventive maintenance activities require the calculation of necessary spare parts by ensuring the availability of the spare parts appropriate with the usage period. The result of processing data in RCC unit, Reactor-regenerator system is selected as a critical system which has 33 equipments. Afterwards 19 critical equipments are selected and then four subsystem which have critical equipment are obtained, namely Catalyst Handling System, Steam Controlling, Catalyst Cooler and Regenerator Air System. The critical equipments carry out preventive maintenance policy with the kind of maintenance activities Scheduled; On Condition Task as many 34 maintenance activities, Scheduled Restoration Task as many seven maintenance activities, and Scheduled Discard Task as many five maintenance activities, with the maintenance interval is starting from 1.440 hours to 6.382,98 hours. From the result of policy and maintenance interval can be obtained the total of maintenance cost per year as much Rp1.746.176.131. From the 19 equipments there are 43 components which the amount of necessary spare parts are calculated such as 37 spare parts non-repairable and four spare parts repairable with the total needed one until 22 spare parts.

Key words: *Reliability Centered Maintenance*, *Spare Part*, *Preventive Maintenance*

1. Pendahuluan

PT Pertamina merupakan perusahaan minyak dan gas bumi yang dimiliki oleh Pemerintah Indonesia. Dalam menjamin suplai untuk selalu memenuhi kebutuhan masyarakat menjadi tantangan bagi perusahaan.

Tabel 1 Produksi dan Konsumsi BBM Indonesia Tahun 2005-2010

Produksi dan Konsumsi BBM Indonesia (Ribu Barel)		
Tahun	Produksi BBM	Konsumsi BBM
2005	268.529	397.802
2006	257.821	374.691
2007	244.396	383.453
2008	251.531	388.107
2009	246.289	379.142
2010	241.156	388.241

Dikarenakan produksi BBM yang dihasilkan perusahaan tidak sebanding dengan konsumsi yang dibutuhkan masyarakat. Maka memaksa pemerintah untuk mengimpor BBM dari luar negeri. Untuk meminimalisir jumlah impor BBM, maka salah satu tindakan yang perlu dilakukan adalah meningkatkan produksi pengolahan minyak dengan mempertahankan fungsi mesin dengan cara melakukan perawatan mesin yang optimal. Lokasi penelitian yaitu UP-VI yang berada di Balongan Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat. Pemilihan lokasi studi ini didasarkan karena UP-VI Balongan memiliki peranan yang vital dan strategis untuk memenuhi kebutuhan BBM yang mendistribusikan ke daerah DKI Jakarta dan Jawa Barat yang merupakan daerah terbanyak mengkonsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM).

Tabel 2 Daerah Terbanyak Mengonsumsi BBM Subsidi Tahun 2012

Daerah	Konsumsi BBM Subsidi (Juta Kilo Liter)
Sumatra Utara	1,189
DKI Jakarta	1,604
Jawa Tengah	2,246
Jawa Timur	2,892
Jawa Barat	3,444

Penelitian ini lebih berfokus pada unit proses *Residue Catalytic Cracker* (RCC) dikarenakan di Unit RCC terdapat *Reactor* dan *Regenerator* dimana sistem operasi ini saling tergantung satu sama lain. Dengan sistem operasi saling ketergantungan tersebut sehingga berpotensi besar terjadi kerusakan.

Selain itu hasil pengolahan dari Unit RCC akan menjadi bahan inputan ke unit-unit proses produksi lainnya yaitu *LPG Treater*, *CCU (Catalytic Condensation Unit)*, *PPU (Propylene Recovery Unit)*. Sehingga akan berpengaruh terhadap proses produksi minyak apabila unit RCC mengalami *shutdown* yang sebagian besar akan kehilangan produk seperti Premium, Pertamina, LPG, dan lain-lain.

Berdasarkan uraian di atas maka Unit *Residue Catalytic Cracker* (RCC) RU-VI Balongan perlu dilakukan perbaikan *maintenance* dan optimasi penentuan waktu perawatan mesin dengan mempertimbangkan reliabilitas, biaya perawatan, kebutuhan suku cadang dan nilai *availability* mesin yang berbasis *Reliability Centred Maintenance* (RCM) dan *Spare Parts Management*. Pada perhitungan *spare parts* dengan menggunakan metode *Assurance Level*. Penggunaan metode ini karena dapat menjamin kebutuhan pemenuhan *spare parts*.

Tujuan Penelitian

1. Menentukan sistem kritis pada Unit RCC UP-VI Balongan dengan menggunakan metode *Risk Priority Number* (RPN).
2. Menentukan *maintenance strategy* dan *maintenance task* dengan metode *Reliability Centered Maintenance* pada subsistem kritis di RCC..
3. Menentukan *interval maintenance* pada subsistem kritis dengan menggunakan metode *Reliability centered maintenance* (RCM).
4. Menentukan jumlah *spare part repairable* dan *non-repairable* pada subsistem kritis di RCC.

- Menentukan total biaya perawatan pada subsistem kritis dan membandingkan dengan biaya perawatan eksisting di RCC.

2. Dasar Teori dan Metodologi

Reliabilitas, Maintainability, dan Availability

Reliabilitas merupakan probabilitas suatu subsistem atau sistem akan menginformasikan suatu fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi (Ebeling, 1997 dalam Kurniawan, 2008). Menurut Ebeling (1997), *maintainability* didefinisikan sebagai peluang suatu sistem atau komponen yang rusak dikembalikan pada kondisi kerja penuh dalam suatu periode waktu yang telah ditentukan dan dengan prosedur *maintenance* tertentu [1]. Menurut Moubray (1991), *availability* didefinisikan sebagai suatu ukuran waktu yang dibutuhkan bagi suatu sistem untuk benar-benar beroperasi [2].

Interval Preventive Task On Condition, Schedule restoration, dan schedule discard

interval *on-condition task* adalah setengah dari interval P-F. Interval P-F didefinisikan sebagai interval antara terjadinya *potential failure* dan kondisi kegagalan *functional equipment* [2]

$$- \tag{1}$$

Schedule restoration dan *schedule discard* dilakukan penggantian komponen secara berkala. Penentuan *scheduled restoration* dan *scheduled discard task* selama periode waktu tertentu dipengaruhi oleh *useful life* (Moubray, 1997) yang dilakukan secara dengan melihat MTBF [2].

(2)

Biaya Preventive Maintenance

$$CM = \text{Biaya tenaga kerja} + \text{Biaya down time} + \text{Biaya perbaikan} \tag{3}$$

Spare Part Repairable

Repairable spare part adalah ketika suatu komponen terjadi kegagalan, maka komponen tersebut akan dilepas dan diganti dengan komponen sejenis. Lalu komponen yang dilepas tadi akan masuk ke *repair shop* untuk diperbaiki. Setelah komponen tersebut selesai diperbaiki, maka komponen tersebut akan disimpan ke gudang untuk nantinya akan menggantikan komponen sejenis yang gagal.

$$\text{---} \quad \text{---} \tag{4}$$

(5)

$$\text{---} \quad \text{---} \tag{6}$$

Spare Part Non-Repairable

Non-repairable spare part merupakan komponen yang tidak dapat diperbaiki, atau apabila memperbaiki komponen tersebut, biaya yang dikeluarkan akan lebih besar daripada membeli spare part yang baru.

$$\text{---} \quad \text{---} \tag{7}$$

Oreda

$$\text{=---} \tag{8}$$

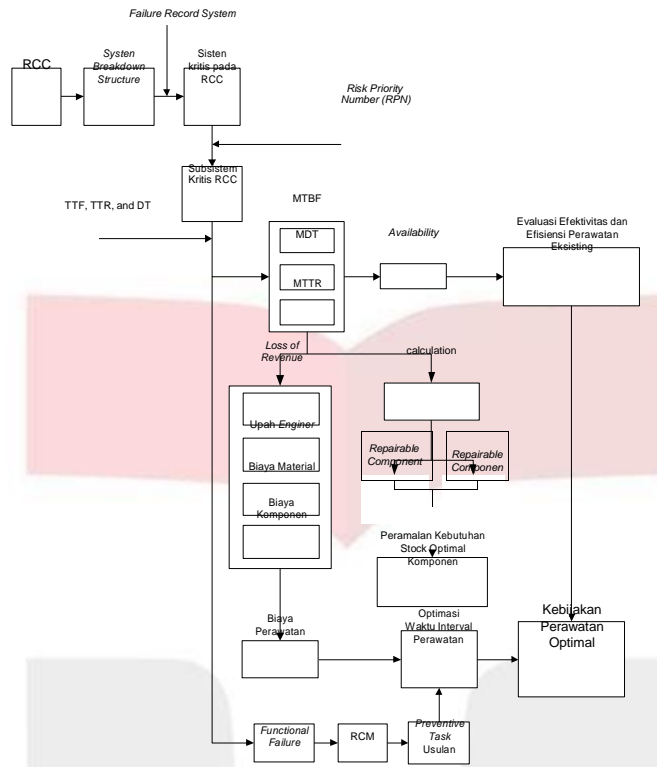
Dimana *Number of Incipient failures*, *= Number of Degraded failure*, dan *= Number of Critical failures* [5] [7].

(9)

-

Metodologi

Tahap awal dalam penelitian ini adalah menentukan sistem kritis pada *Residue catalytic cracker* (RCC) dengan cara menyusun *System Breakdown Structure* (SBS) seperti yang terlihat pada Gambar 1 Model Konseptual. Kemudian dipilih sistem kritis pada RCC yang paling banyak terjadi kerusakan.



Gambar 1 Model Konseptual

Langkah selanjutnya selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan *Risk Priority Number* (RPN) untuk menentukan *equipment* kritis. Pada pengukuran secara kualitatif mengacu pada *functional failure* pada subsistem kritis. Pengukuran secara kualitatif ini dilakukan untuk menentukan *preventive maintenance* pada subsistem kritis dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) sehingga diperoleh optimasi waktu interval perawatan. Pada pengukuran secara kuantitatif dihitung nilai MTTR atau MTBF dari data Oreda yang digunakan untuk menentukan kebutuhan *spare part repairable* dan *spare part non-repairable*. Setelah dilakukan optimasi waktu interval perawatan dan evaluasi efektivitas dan efisiensi perawatan eksisting maka selanjutnya dapat ditentukan kebijakan perawatan yang optimal.

3. Pembahasan

Penentuan sistem kritis

Berdasarkan data *History Card* unit RCC tahun 2011 hingga 2013 diperoleh *Reactor-regenerator system* mengalami frekuensi kerusakan paling tinggi. Dengan menggunakan metode RPN (*Risk Priority Number*) dan prinsip pareto 80 20 maka pada *Reactor-regenerator system* diperoleh *equipment* kritis yang berjumlah 19 *equipment*. Dan subsistem yang mempunyai *equipment* kritis tersebut antara lain *Catalyst Handling System*, *Steam Controlling*, *Catalyst Cooler*, dan *Regenerator Air System*.

Tabel 3 Nilai Frekuensi Kerusakan

NO	System	Frekuensi Kerusakan	Persentase (%)
1	Feed System	4	6,35%
2	Reactor-Regenerator System	25	39,68%
3	Fractinator System	20	31,75%
4	CO Boiler	14	22,22%

Perhitungan MTTF atau MTBF

Untuk menghitung nilai MTTF atau MTBF menggunakan tabel *Oreda* [5].

Tabel 4 Nilai MTTF atau MTBF

No	Equioment	λ	MTTF/MTBF (Hours)
1	<i>Cat Cooler Circ Water Pumps A</i>	0,000159	6.289,308
2	<i>Steam Turbine</i>	0,000162	6.172,84
3	<i>Air Blower Axial Compressor</i>	0,000056	17.857,14

Kebijakan perawatan

Kegiatan perawatan yang baik merupakan kegiatan perawatan yang efektif dan efisien. Kegiatan perawatan yang efektif bisa terlihat melalui kebijakan perawatan yang dapat meminimasi kerusakan dan lamanya *downtime*. Sedangkan yang efisien terlihat dari biaya yang dikeluarkan dalam kegiatan perawatan sehingga produksi dapat berjalan seoptimal mungkin dengan biaya perawatan minimum yang digunakan.

Tabel 5 *Failure Mode And Effect Analysis*

No	Item Name	Function	Functional failure	Failure mode	Failure Effect
1	<i>Cat Cooler Circ Water Pumps A</i>	Mengalirkan <i>Boiler Feed Water</i> ke dalam <i>catalyst cooler</i>	Gagal mengalirkan <i>Feed Water</i> ke dalam <i>catalyst cooler</i> karena terjadi kebocoran pada <i>mechanical seal</i>	<i>Fails to pump due to internal leakage</i>	Mengakibatkan katalis yang mengalir tidak baik untuk digunakan dalam proses <i>cracking</i> selanjutnya
2	<i>Steam Turbine</i>	Menggerakkan <i>axial compressor</i> dengan memanfaatkan <i>steam</i> berupa tekanan dan panas	Gagal menggerakkan <i>axial compressor</i> dengan memanfaatkan <i>steam</i> berupa tekanan dan panas	<i>Loss of performance due to lubricating oil leakage</i>	Mengakibatkan <i>bearing</i> keausan karena kekurangan pelumas
3	<i>Air Blower Axial Compressor</i>	Mensupply kebutuhan udara untuk membakar habis semua <i>coke</i> pada katalis	Gagal mensupply kebutuhan udara untuk membakar habis semua <i>coke</i> pada katalis	<i>Fan Axial blower has low output due to loss of lubricating oil</i>	Terjadi gesekan dari bagian yang berputar sehingga suplay udara berkurang akibat hilang pelumasan

Interval perawatan

Pada *Steam turbine failure mode 1-A-1 (Loss of performance due to lubricating oil leakage)* merupakan *equipment* yang memerlukan tindakan *preventive task* jenis *scheduled on condition (OC)*. Jenis kegagalan ini dapat diketahui *potential failure* berupa penurunan performansi saat menggerakkan *axial compressor* yang disebabkan oleh kehilangan pelumas pada *bearing*. Oleh karena itu untuk mencegah atau mengurangi konsekuensi kegagalan diperlukan tindakan *preventif scheduled on condition* dengan melakukan pengecekan *lube oil* pada bearing.

Tabel 6 RCM Worksheet

No	Item name	Proposed Task	Initial Interval (Hours)
1	<i>Cat Cooler Circ Water Pumps A</i>	Melakukan penggantian pada <i>mechanical seal</i> yang bocor	D 1886,79
2	<i>Steam Turbine</i>	Melakukan pengecekan pelumas pada <i>bearing</i>	OC 2520
3	<i>Air Blower Axial Compressor</i>	Melakukan pemeriksaan dan perbaikan pada <i>fan axial blower</i>	R 5357,14

Pada *Equipment Cat Cooler Circ Water Pumps A* pada *failure mode 2-A-1 (Fails to pump due to internal leakage)* merupakan *equipment* yang memerlukan tindakan *preventive task* jenis *scheduled discard*. Jenis kegagalan pada *pump* tersebut memerlukan penggantian komponen *mechanical seal* yang fungsinya telah menurun akibat terjadi kebocoran pada komponen sehingga dibutuhkan penggantian komponen untuk mengembalikan fungsi komponen agar tetap optimal dan mencegah dampak berkelanjutan dari konsekuensi kegagalan komponen tersebut. Dengan melakukan penggantian komponen secara berkala maka kerugian yang ditimbulkan akibat *Cat Cooler Circ Water Pumps A* berhenti beroperasi dapat dikurangi.

Pada *Equipment Air Blower Axial Compressor* pada *failure mode 1-A-2 (Fan Axial blower damage due to loss of performance)* merupakan *equipment* yang memerlukan tindakan *preventive task* jenis *scheduled restoration*. Bentuk kegagalan pada *failure mode* tersebut memerlukan pemeriksaan dan perbaikan pada bagian yang berputar dari *fan axial blower* yang memiliki kemungkinan terjadi gesekan karena kurang pelumasan.

Perhitungan biaya perawatan

Loss of profit

Berdasarkan data dari laporan *Functional Criticality Analysis* unit RCC. Maka *loss margin* per hari dari unit tersebut adalah US \$ 698.750 atau sebesar Rp. 9.083.750.000 (1 US \$=RP 13.000).

Hourly rate ini berlaku ketika unit RCC berada dalam *corrective maintenance*. Sedangkan berlaku ketika *preventive maintenance* adalah sebesar 15% *hourly rate* sebesar Rp. 56.773.437,-

Tabel 7 Upah engineer

No	Upah per bulan	Upah per jam	Jumlah Engineer	Biaya engineer per jam
1	Rp 3.800.000	Rp 18.269	5	Rp 91.346

Total biaya perawatan

Untuk melakukan perhitungan *preventive maintenance* usulan maka membutuhkan biaya total sebesar Rp 5.238.528.395. Sedangkan biaya perawatan existing dan *turn around* setiap tiga tahun masing-masing sebesar Rp. 161.134.615 dan Rp 27.251.250.000. Maka dari itu, total biaya perawatan untuk kegiatan perawatan usulan selama rentang waktu satu tahun adalah Rp 1.746.176.131 dan kegiatan perawatan *existing* sebesar Rp. 9.137.461.538.

Tabel 8 Biaya perawatan usulan 3 *equipment*

No	Item name	Proposed Task	FM	CM	Biaya Perawatan
1	Cat Cooler Circ Water Pumps A	Melakukan penggantian pada <i>mechanical seal</i> yang bocor	14	Rp 2.912.842	Rp 40.015.462
2	Steam Turbine	Melakukan pengecekan pelumas pada <i>bearing</i>	10	Rp 91.346	Rp 939.560
3	Air Blower Axial Compressor	Melakukan pemeriksaan dan perbaikan pada <i>fan axial blower</i>	5	Rp 116.459.717	Rp 563.478.696

Untuk 19 *equipment* diperoleh jumlah total biaya usulan sebesar Rp 5.238.528.395 dalam 3 tahun

Tabel 9 Biaya perawatan eksisting

	Jumlah Task	Upah Engineer	Frekuensi	Biaya
<i>Preventive maintenance</i> mingguan	9	Rp 91.346	156	Rp 128.250.000
<i>Preventive maintenance</i> Bulanan	10	Rp 91.346	36	Rp 32.884.615
Total				Rp 161.134.615

Spare part

Perhitungan kebutuhan jumlah *spare parts* yang optimal dapat membantu perusahaan melakukan estimasi yang tepat terhadap kebutuhan jumlah *spare parts* di masa mendatang. Dan membuat perusahaan terhindar dari kerugian akibat dari estimasi kebutuhan *spare parts* yang salah.

Perhitungan Spare Part Non-repairable

Perhitungan kebutuhan komponen *bearing* pada *Steam Turbine* [6].

Tabel 10 Perhitungan Kebutuhan *Bearing*

k	$\exp(-\lambda t)$	$(\lambda t)^k/k!$	Probabilitas	Assurance Level
0	0,0608	1,0000	0,0608	0,0608
1	0,0608	2,7994	0,1703	0,2312
2	0,0608	3,9182	0,2384	0,4696
3	0,0608	3,6562	0,2225	0,6921
4	0,0608	2,5587	0,1557	0,8478
5	0,0608	1,4326	0,0872	0,9349
6	0,0608	0,6684	0,0407	0,9756

Sehingga jumlah *spare parts Bearing* dibutuhkan untuk memenuhi 90% ketersediaannya dalam waktu satu tahun sebanyak 5 buah.

Perhitungan Spare part Repairable

Perhitungan kebutuhan komponen *Flexible Coupling* pada *Cat Cooler Circ Water Pumps A/B/C*.

Tabel 11 Perhitungan Probabilitas dan

i	P_1	P_2
0	0,2904	0,997617842
1	0,3591	0,002379319
2	0,2220	0,000002837
3	0,0915	0,000000002

Tabel 12 Perhitungan Kebutuhan *spare parts*

$P(n-1)$	Assurance Level
$P(0)$	0,28974
$P(1)$	1,22813

Untuk memenuhi kebutuhan 90% dari ketersediaannya maka perusahaan membutuhkan *spare parts Flexible Coupling* sebanyak 2 buah. Dimana $P(n-1) = 1$, maka $n=2$.

Tabel 13 Kebutuhan *Spare part repairable*

No	Equipment	Spare part	Jumlah art
1	<i>Cat Cooler Circ Water Pumps A/B/C</i>	<i>Flexible Coupling</i>	2
2	<i>Flue Gas Slide Valve</i>	<i>Power Supply</i>	2
3	<i>Oil Cooler</i>	<i>Water box</i>	2
4	<i>Air Blower Axial Compressor</i>	<i>Fan axial blower</i>	2

Tabel 14 Kebutuhan *spare part non-repairable*

No	Equipment	Spare part	Jumlah kebutuhan
1	Cat Cooler Circ Water Pumps A/B/C	Seal Ring	7
		Seal Cover	7
		Ball Bearing Housing	12
2	Steam Turbine	Bearing	5
		Labyrinth Seal	10
		Body Gasket	5
3	Air Blower Axial Compressor	MSL Bearing	1

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN), maka *equipment* kritis yang terdapat pada sistem kritis *Reactor-regenerator* berjumlah 19 *equipment*. Yang mana *equipment* kritis tersebut terdapat pada subsistem *Catalyst Handling System*, *Steam Controlling*, *Catalyst Cooler*, dan *Regenerator Air System*.
2. Kebijakan perawatan yang tepat ditetapkan dengan melakukan pendefinisian *function*, *functional failure*, *failure mode*, dan *failure effect* dari setiap *equipment* yang dapat dilihat pada Tabel 5 *Failure Mode And Effect Analysis*.
3. Interval waktu perawatan yang tepat pada Unit RCC ditentukan dari nilai P-F interval dan nilai MTBF/MTTF dari setiap *equipment* berdasarkan jenis kebijakan perawatan yang sudah ditentukan. Interval waktu perawatan dapat dilihat pada Tabel 6 *RCM Worksheet*.
4. Total biaya kegiatan perawatan usulan selama rentang waktu satu tahun adalah Rp 1.746.176.131 dan kegiatan perawatan *existing* sebesar Rp 9.137.461.538.
5. Jumlah kebutuhan *spare part repairable* dan *non-repairable* yang optimal dalam satu tahun dapat dilihat pada Tabel 13 dan 14.

Saran

1. Untuk perusahaan diperlukan pembuatan catatan mengenai kegiatan *maintenance* secara lengkap dan detail berisi waktu kerusakan, waktu perbaikan, dan kegiatan perawatan setiap *equipment* atau bahkan sampai pada tingkat komponen agar dapat diolah untuk perbaikan perawatan lebih akurat di masa yang akan datang.
2. Perusahaan membuat laporan secara berkala dan sistematis agar menjadi masukan kegiatan *maintenance* yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ebeling, E. Charles, 1997. *An Introduction Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore.
- [2] Moubray, John, 1997. *Reliability Centered Maintenance*. Industrial press inc. 2nd edition. New York.
- [3] Corder, A. 1992. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Jakarta : Erlangga.
- [4] Marquez, Adolfo, 1997. *The Maintenance Management Framework*. Spain.
- [5] OREDA Companies 2012, *Offshore Reliability Data Handbook. 4th ed. Det Norske Veritas (DNV), Norway*.
- [6] Sutrisno, Ir., MSAE., 2011. *Handout Kuliah Manajemen Perawatan*, IT Telkom, Bandung.
- [7] Vestvik, DH, 2012 "*Development of FMEA/RCM methodology to be implemented in Generic Maintenance Concepts*", University of Stavanger.