

Perancangan Kebijakan Perawatan dan Penentuan Persediaan *Spare Part* di Sub Sistem Evaporasi Pabrik Urea Kaltim-3 PT Pupuk Kalimantan Timur

Weny Yuliana Sari dan Yudha Prasetyawan

Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: yudhaprase@yahoo.com

Abstrak— Pabrik Kaltim-3 PT Pupuk Kalimantan Timur memberikan kontribusi 17,84 % untuk produksi amoniak dan 19,13 % untuk produksi urea dari total produksi di PKT. Salah satu proses di Pabrik Urea Kaltim-3, yaitu evaporasi merupakan proses dimana larutan urea dinaikkan konsentrasinya (dikentalkan) dari konsentrasi 75% menjadi 99,8%. Untuk mencegah kegagalan fungsi, maka diperlukan aktivitas perawatan. Aktivitas perawatan yang dilakukan di PKT masih menunjukkan adanya *over dan under maintenance*. Oleh karena itu akan dilakukan perancangan kegiatan perawatan dengan metode *Reliability Centered Maintenance II (RCM II)* yang menghasilkan fungsi, kegagalan fungsi, serta *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Berdasarkan informasi pada *FMEA* tersebut, kemudian dihasilkan kebijakan perawatan dan pelaksana teknis, serta data historis kerusakan yang digunakan untuk menghitung interval waktu perawatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan persediaan *spare part* dengan memperhatikan *lead time* pemesanan komponen. Dengan menentukan kebijakan perawatan dan persediaan *spare part* yang tepat, maka biaya yang dikeluarkan dapat diminimalisir.

Kata Kunci— Perawatan, *FMEA*, *RCM II*, interval waktu perawatan, dan *lead time*.

I. PENDAHULUAN

Salah satu dari pabrik yang dimiliki PKT, yaitu Pabrik Kaltim-3 merupakan pabrik yang memiliki kapasitas produksi 330.000 ton amoniak per tahun (17,84 % dari keseluruhan produksi) dan 570.000 ton urea per tahun (19,13 % dari keseluruhan produksi). Kapasitas produksi tersebut dapat dipenuhi jika sistem produksi berjalan dengan baik dan dalam keadaan handal. Salah satu tahapan proses di Pabrik Urea Kaltim-3, yaitu evaporasi merupakan proses dimana larutan urea dari proses resirkulasi dinaikkan konsentrasinya (dikentalkan) dari konsentrasi 75% menjadi 99,8%. Jika evaporasi mengalami *shut down*, maka *production rate* turun sebesar 38% (setara dengan 3,015 miliar rupiah) hingga ke level minimum (70%). Untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi di sub sistem evaporasi, maka dilakukan aktivitas perawatan. Perawatan dilakukan untuk mencegah kegagalan sistem maupun untuk mengembalikan fungsi sistem jika kegagalan telah terjadi [1].

Aktivitas perawatan di PKT mengindikasikan terjadinya *over dan under maintenance* yang menyebabkan biaya besar. Penentuan interval waktu perawatan yang dilakukan masih menggunakan metode perhitungan yang konvensional. Waktu

yang dibutuhkan untuk setiap periode perawatan nilainya sama. Padahal komponen yang telah mengalami proses perbaikan kondisinya tidak sebaik pada saat komponen tersebut masih baru (*as good as new*).

Salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan untuk mendukung pelaksanaan aktivitas perawatan adalah *spare part* [2]. Ketika suatu sistem mengalami *shut down* karena komponen rusak, nilai *downtime* dapat dikurangi secara signifikan jika semua *spare part* yang dibutuhkan untuk mengganti komponen yang rusak tersebut tersedia [3]. Penentuan kebutuhan persediaan *spare part* yang digunakan selama ini didasarkan pada permintaan operator di lapangan, bukan berdasarkan analisis kuantitas tertentu. Jika *spare part* tidak tersedia pada saat dibutuhkan, maka akan menyebabkan biaya kehilangan produksi menjadi tinggi. Akan tetapi, jika *spare part* menumpuk terlalu lama di gudang, maka biaya penyimpanan *spare part* juga menjadi tinggi.

Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan perancangan kebijakan perawatan. Kebijakan perawatan merupakan kegiatan yang harus dilakukan untuk menjaga agar suatu aset tetap berfungsi dengan baik sehingga *shut down* tidak terencana dapat dihindari [2]. Moubrey (1997) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II (RCM II)* untuk menyusun kebijakan perawatan untuk suatu komponen mesin berdasarkan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* beserta interval waktu perawatan dan eksekutor perawatan. Output yang dihasilkan dari metode *RCM II* ini merupakan aktivitas perawatan yang disesuaikan dengan efek yang dihasilkan oleh suatu komponen jika mengalami kegagalan.

Untuk menghitung interval waktu perawatan perlu diperhatikan penurunan keandalan mesin, terutama pada aktivitas perbaikan. Hal ini dikarenakan keandalan mesin akan menurun setelah dilakukan aktivitas PM perbaikan [4]. Zhou (2004) telah melakukan penelitian tentang pembuatan model untuk penjadwalan kegiatan perawatan untuk sistem yang mengalami penurunan keandalan [5].

Untuk menjamin bahwa *spare part* selalu tersedia dan meminimalkan biaya penyimpanan, maka perlu ditentukan waktu pemesanan yang tepat dengan mempertimbangkan interval waktu penggunaan komponen dan *lead time*. Dengan mempertimbangkan interval waktu penggunaan dan *lead time*, maka biaya penyimpanan dapat diminimalkan.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan didefinisikan fungsi dan kegagalan fungsi sub sistem evaporasi, serta

ditentukan FMEA sub sistem tersebut. Dan berdasarkan data FMEA tersebut, kemudian ditentukan keputusan program kebijakan perawatan yang tepat berdasarkan diagram RCM II beserta interval waktu perawatan. Serta untuk menentukan waktu pemesanan yang optimal sehingga biaya inventori dapat dikurangi.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Tahap Telaah

1) Keandalan dan Perawatan

Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan menginformasikan suatu fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi [6]. Fungsi keandalan yang disimbolkan dengan $R(t)$ menunjukkan probabilitas peralatan dapat beroperasi hingga waktu t . Fungsi tersebut dirumuskan sebagai berikut [7]:

$$R(t) = \int_x^{\infty} f(t)dt$$

Terkait dengan keandalan suatu sistem terdapat hal yang perlu diperhatikan yaitu kegagalan, dimana sistem tersebut tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya. Kondisi mesin yang siap bekerja secara normal atau memiliki availability tinggi sangat diharapkan oleh perusahaan untuk dapat berproduksi optimal. Oleh karenanya diperlukan sebuah aktifitas menjaga ketersediaan mesin tersebut atau biasa disebut dengan aktifitas perawatan. Perawatan merupakan suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau memperbaikinya sampai, suatu kondisi yang bisa diterima [8].

2) Reliability Centered Maintenance II (RCM II)

Reliability-Centered Maintenance (RCM) adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan agar setiap aset fisik dapat terus melakukan apa yang diinginkan oleh penggunaannya dalam konteks operasionalnya [2].

Dalam metode RCM II ini, terdapat tujuh pertanyaan utama tentang sistem yang sedang diamati, yaitu [2]:

1. Apa fungsi dari aset dan standar kinerja yang terkait dengan fungsi itu sesuai dengan konteks operasinya saat ini?
2. Bagaimana aset tersebut dapat gagal memenuhi fungsinya?
3. Apa modus atau penyebab dari setiap kegagalan fungsi tersebut?
4. Apa yang terjadi jika modus atau penyebab kegagalan itu muncul?
5. Bagaimana kegagalan-kegagalan tersebut berpengaruh?
6. Tindakan apa yang yang bisa dilakukan untuk memprediksi atau mencegah setiap kegagalan?
7. Bagaimana jika tidak ditemukan tindakan proaktif yang sesuai?

Teknik menangani kegagalan dibagi menjadi dua kategori, yaitu :

1. *Proactive task*, yaitu pekerjaan yang dilakukan sebelum terjadinya kegagalan, untuk mencegah peralatan masuk ke dalam keadaan gagal. RCM membagi *proactive task* ke dalam tiga kelompok berikut :

- *Scheduled restoration task*, mencakup kegiatan untuk mengembalikan kemampuan asal dari suatu komponen atau melakukan *overhaul* suatu *assembly*

pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditentukan tanpa memandang kondisi komponen atau *equipment* pada saat perbaikan.

- *Scheduled discard task*, mencakup kegiatan untuk mengganti komponen atau *equipment* pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditentukan tanpa memandang kondisi komponen atau *equipment* pada saat penggantian.
 - *Scheduled on-condition task*, mencakup kegiatan pengecekan kegagalan potensial sehingga dapat dilakukan suatu tindakan untuk mengurangi atau menghilangkan konsekuensi yang terjadi jika kegagalan dibiarkan menjadi kegagalan fungsi. Kegiatan ini mencakup semua bentuk *condition-based monitoring*, *predictive maintenance*, dan *condition monitoring*.
2. *Default action*, yaitu aktivitas yang dilakukan pada saat peralatan sudah masuk ke dalam keadaan gagal, dan dipilih ketika tidak ditemukan *proactive task* yang efektif. RCM membagi menjadi tiga kategori besar untuk *default function*, yaitu sebagai berikut :

- *Failure-finding*, termasuk memeriksa fungsi tersembunyi untuk mengetahui apakah fungsi sudah gagal.
- *Redesign*, mencakup perubahan dari kemampuan suatu sistem. Termasuk di dalamnya adalah modifikasi terhadap peralatan atau prosedur kerja.
- *No scheduled maintenance*, tidak melakukan apapun untuk mengantisipasi atau mencegah modus kegagalan yang terjadi, dan kegagalan dibiarkan terjadi kemudian baru diperbaiki. Keadaan ini disebut juga dengan *run-to-failure*.

3) Distribusi Probabilitas Keandalan

Berikut merupakan beberapa distribusi umum yang digunakan untuk menghitung tingkat keandalan suatu peralatan.

1. Distribusi Eksponensial

- Fungsi keandalan

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

- Probability Density Function (pdf)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

- Laju kerusakan

$$h(t) =$$

- MTTF = 1/

2. Distribusi Weibull

- Fungsi keandalan

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

- Probability Density Function (pdf)

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

- Laju kerusakan

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

- MTTF = $\int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} dt$

3. Distribusi Lognormal

- Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left[\frac{1}{s} \ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right]$$

- Probability Density Function (pdf)

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot s \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2s^2} \left[\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right]^2\right\}$$

- Laju kerusakan

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

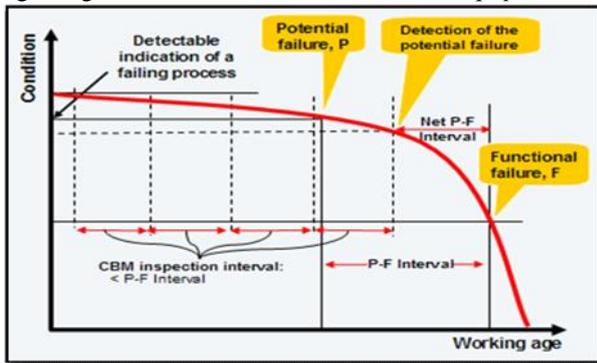
- MTTF = $\exp(t_0 + 0,5 s^2)$

4) Perhitungan Interval Waktu Perawatan

Perhitungan interval waktu perawatan didasarkan berdasarkan kebijakan perawatan yang dihasilkan. Berikut adalah perhitungan interval waktu perawatan untuk masing-masing kebijakan perawatan.

- On condition task

Aturan untuk menentukan 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]. Berikut adalah gambar yang mengilustrasikan interval P-F dari suatu equipment.



Gambar 1 P-F Interval [2]

- Scheduled Discard Task

Interval waktu perawatan yang digunakan untuk scheduled discard task adalah setengah dari Mean Time to Failure (MTTF) suatu komponen. MTTF komponen didapatkan dari data historis kerusakan komponen tersebut.

- Scheduled Restoration Task

Jika suatu komponen telah mengalami aktivitas rekondisi atau overhaul, keandalan dari komponen ini tidak dapat sebaik komponen baru (as good as new). Hal inilah yang dinamakan dengan imperfect maintenance [9].

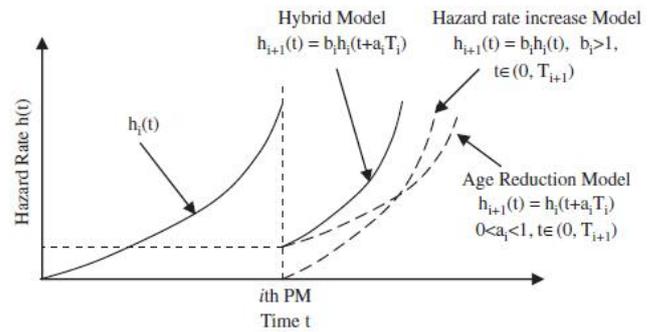
Berdasarkan konsep imperfect maintenance tersebut, maka dapat dikatakan bahwa hazard rate akan meningkat setelah dilakukan aktivitas perawatan. Nilai hazard rate setelah aktivitas perawatan dapat dinyatakan sebagai [5]:

$$h_{i+1}(t) = b_i h_i(t + \alpha_i T_i) \text{ untuk } t \in (0, T_{i+1})$$

Keterangan:

- $h_{i+1}(t)$: fungsi hazard rate komponen setelah mengalami perawatan yang ke-i
- b_i : faktor yang meningkatkan hazard rate ($b_i > 1$)
- α_i : faktor yang menyebabkan berkurangnya umur komponen ($0 < \alpha_i < 1$)
- T_i : interval waktu perawatan periode ke-i

Berikut ini adalah hubungan antara hazard rate sebelum dan setelah dilakukan aktivitas perawatan.



Gambar 2 Model hybrid evolution untuk hazard rate suatu sistem [5] Dalam model tersebut, aktivitas perawatan dilakukan pada saat komponen mencapai keandalan R. Berikut adalah rumus keandalan R

$$R = \exp\left[-\int_0^{T_1} h_1(t) dt\right] = \exp\left[-\int_0^{T_2} h_2(t) dt\right] = \dots = \exp\left[-\int_0^{T_N} h_N(t) dt\right]$$

Berdasarkan persamaan di atas, maka didapatkan

$$-\ln R = \int_0^{T_1} h_1(t) dt = \int_0^{T_2} h_2(t) dt = \dots = \int_0^{T_N} h_N(t) dt$$

Persamaan tersebut digunakan untuk mencari nilai T_i Untuk mencari nilai optimal jumlah perawatan (N) dan keandalan pada saat dilakukan perawatan (R), maka disimulasikan nilai C_{Er} dan dicari nilai C_{Er} yang terkecil. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk mencari C_{Er} (Zhou, et al., 2004):

$$C_{Er} = \frac{N(C_{up}(-\ln R) + C_{sp}(1 + \ln R))\tau_p + \text{Cost}_r}{\sum_{i=1}^N (\tau_i) + N\tau_p}$$

Keterangan:

- C_{Er} : ekspektasi biaya per satuan waktu
- C_{up} : ekspektasi biaya untuk unscheduled PM
- C_{sp} : ekspektasi biaya untuk scheduled PM
- Cost_r : biaya replacement tambahan
- τ_p : durasi PM

- Failure Finding Task

Menurut Mobray (1997), interval waktu perawatan untuk failure-finding task dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{FFI} = 2 \times U_{\text{tive}} \times M_{\text{tive}}$$

Keterangan:

- FFI : failure finding interval
- U_{tive} : unavailability yang dikehendaki dari protective device
- M_{tive} : MTBF dari protective device

5) Perhitungan Persediaan Spare Part

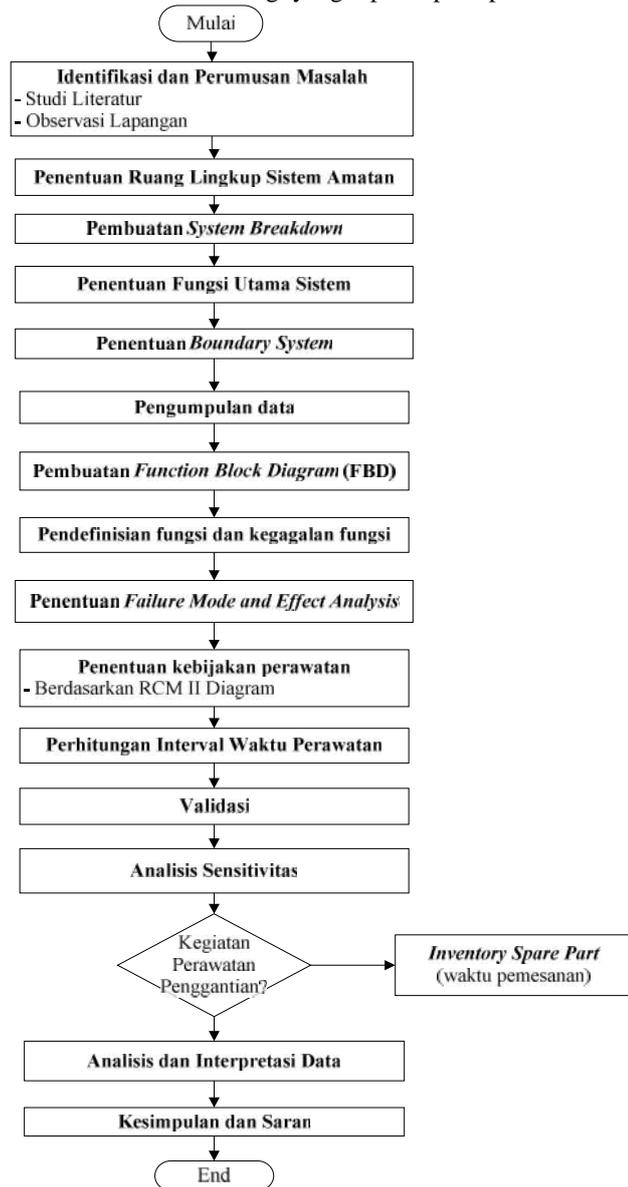
Persediaan merupakan produk yang disimpan untuk digunakan di masa mendatang [10]. Perancangan logistik untuk spare part berbeda dengan material yang lain. Persediaan spare part biasanya memiliki nilai permintaan yang sangat kecil. Tujuan utama dari penentuan kebutuhan persediaan spare part ini adalah untuk mencapai service level yang baik dengan investasi untuk persediaan dan biaya administrasi yang sekecil-kecilnya [11].

Hubungan antara spare part dan aktivitas perawatan bergantung pada waktu yang dibutuhkan untuk menyediakan

spare part dari *supplier* yang biasa disebut dengan *lead time* [2]. Jika *spare part* tidak tersedia di gudang, *lead time* menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi. Di sisi lain, menyimpan *spare part* juga membutuhkan biaya. Jadi, dibutuhkan keseimbangan antara biaya penyimpanan *spare part* dan total biaya tidak menyimpannya.

B. Metodologi Penelitian

Berikut adalah metodologi yang dipakai pada penelitian ini.



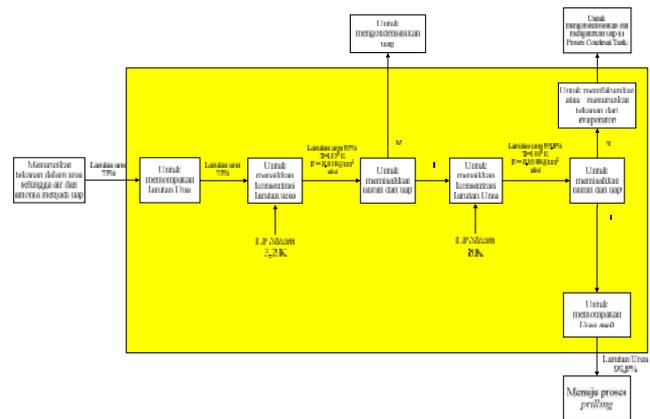
Gambar 3 Metodologi Penelitian

C. Pengolahan Data

Pada bagian ini akan dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan FBD, FMEA, kebijakan perawatan, interval waktu perawatan, validasi, sensitivitas, dan persediaan *spare part*.

1) Functional Block Diagram (FBD)

Berikut adalah FBD untuk sub sistem evaporasi.



Gambar 4 Functional Block Diagram

2) Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Setelah memahami aliran proses sub sistem evaporasi melalui FBD, tahap berikutnya adalah mendefinisikan FMEA, yang terdiri dari fungsi, kegagalan fungsi, modus kegagalan, dan efek kegagalan. Informasi dari analisis FMEA ini kemudian akan digunakan untuk menentukan kebijakan perawatan yang sesuai untuk masing-masing komponen.

3) Perhitungan Interval Waktu Perawatan

Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk mendapatkan interval waktu perawatan untuk masing-masing komponen. Perhitungan interval waktu perawatan tersebut dilakukan berdasarkan kebijakan perawatan yang telah dihasilkan sebelumnya.

Interval waktu perawatan untuk komponen *on condition task* ditentukan dari setengah interval P-F. Berikut adalah hasil perhitungannya.

Tabel 1.

Interval Waktu Perawatan untuk komponen *on condition task*

| No. | Komponen | P-F interval (tahun) | Interval Waktu (tahun) |
|-----|------------------------------------|----------------------|------------------------|
| 1 | Tube 2-E-401 | 4 | 2 (1xTA) |
| 2 | Spray condensat 2-S-401 | 10 | 5(2xTA) |
| 3 | Bubble cap (topi cina) 2-S-401 | 10 | 5(2xTA) |
| 4 | Strainer element separator 2-S-401 | 10 | 5(2xTA) |
| 5 | Tube 2-E-402 | 4 | 2(1xTA) |
| 6 | Nozzle booster 2-J-703 | 10 | 5(2xTA) |
| 7 | Spray condensat 2-S-402 | 10 | 5(2xTA) |
| 8 | Bubble cap (topi cina) 2-S-402 | 10 | 5(2xTA) |
| 9 | Strainer element separator 2-S-402 | 10 | 5(2xTA) |
| 10 | Seat plug valve FV 401 | 20 | 10(5xTA) |
| 11 | Positioner valve FV 401 | 20 | 10(5xTA) |
| 12 | Stem valve FV 401 | 20 | 10(5xTA) |

Interval waktu perawatan untuk komponen *scheduled discard task* didapatkan melalui setengah dari nilai MTTF. Berikut adalah hasil perhitungannya.

Tabel 2.
Interval Waktu Perawatan untuk komponen *scheduled discard task*

| Nama Komponen | MTTF | Interval Waktu (tahun) |
|---------------------------|----------|------------------------|
| Gasket tube 2-E-401 A/B | 6709.62 | 8 |
| Gasket tube 2-E-402 | - | 10 |
| Mechanical Seal 2-P-303 A | - | 5 |
| Line Suction 2-P-303 A | - | 10 |
| Strainer 2-P-303 A | 1371.579 | 2 |
| Shaft 2-P-401 A | 1263.982 | 2 |
| Impeller 2-P-401 A | 1044.152 | 2 |
| 3 Way Valve 2-P-401 | 1800.708 | 2 |

Nilai MTTF didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan formulasi berdasarkan distribusi data *time to failure* masing-masing komponen.

Perhitungan interval waktu perawatan untuk komponen *scheduled restoration task* menggunakan konsep *imperfect maintenance*. Pada penelitian ini digunakan $\epsilon(1,6)$ dan $R\epsilon(0.5,0.38)$ untuk komponen *bearing 2-P-303 A*. Berikut adalah hasil perhitungan untuk nilai T_i .

Tabel 3
Hasil perhitungan T_i

| R/T _i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.5 | 2008.842 | 1886.582 | 1868.448 | 1845.785 | 1823.696 | 1801.922 |
| 0.49 | 2047.389 | 1924.903 | 1911.5 | 2189.43 | 1851.636 | 1844.98 |
| 0.48 | 2086.731 | 1961.697 | 1949.334 | 1930.039 | 1909.7 | 1887.448 |
| 0.47 | 2126.902 | 1999.265 | 1987.964 | 1969.456 | 1948.467 | 1927.926 |
| 0.46 | 2167.936 | 2037.642 | 2027.425 | 2009.721 | 1988.068 | 1966.945 |
| 0.45 | 2209.872 | 2076.862 | 2067.753 | 2050.872 | 2028.539 | 2006.822 |
| 0.44 | 2252.751 | 2116.963 | 2108.988 | 2092.947 | 2069.92 | 2047.595 |
| 0.43 | 2296.616 | 2157.986 | 2151.17 | 2135.989 | 2112.252 | 2089.305 |
| 0.42 | 2341.513 | 2199.975 | 2194.346 | 2180.044 | 2155.58 | 2131.997 |
| 0.41 | 2387.491 | 2242.975 | 2238.561 | 2225.67 | 2198.514 | 2175.789 |
| 0.4 | 2434.606 | 2287.038 | 2283.869 | 2272.567 | 2237.927 | 2216.759 |
| 0.39 | 2482.913 | 2332.215 | 2321.796 | 2308.741 | 2278.932 | 2256.891 |
| 0.38 | 2021.085 | 2402.909 | 2359.623 | 2342.928 | 2318.262 | 2297.137 |

Dengan diketahui bahwa $p = 1$ jam, $C_{up} = Rp 9.187.500,-$, $C_{sp} = Rp 946.250,-$, dan $Cost_r = Rp 10.000.000,-$, maka nilai C_{Er} adalah.

Tabel 4
Hasil perhitungan C_{Er}

| R/Cer/N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0.5 | 5.0784E+11 | 5.23769E+11 | 5.30968E+11 | 5.36234E+11 | 5.40706E+11 | 5.44783E+11 |
| 0.49 | 4.9736E+11 | 5.12684E+11 | 5.19185E+11 | 5.04519E+11 | 5.12988E+11 | 5.19086E+11 |
| 0.48 | 4.8706E+11 | 5.02092E+11 | 5.08357E+11 | 5.12793E+11 | 5.16558E+11 | 5.20083E+11 |
| 0.47 | 4.7693E+11 | 4.9168E+11 | 4.97718E+11 | 5.01938E+11 | 5.05561E+11 | 5.08876E+11 |
| 0.46 | 4.6698E+11 | 4.81441E+11 | 4.87259E+11 | 4.91273E+11 | 4.94759E+11 | 4.9797E+11 |
| 0.45 | 4.5719E+11 | 4.71368E+11 | 4.76974E+11 | 4.80791E+11 | 4.84144E+11 | 4.87254E+11 |
| 0.44 | 4.4755E+11 | 4.61456E+11 | 4.66858E+11 | 4.70484E+11 | 4.7371E+11 | 4.76722E+11 |
| 0.43 | 4.3807E+11 | 4.51698E+11 | 4.56902E+11 | 4.60346E+11 | 4.63449E+11 | 4.66366E+11 |
| 0.42 | 4.2873E+11 | 4.42088E+11 | 4.471E+11 | 4.5037E+11 | 4.53354E+11 | 4.56178E+11 |
| 0.41 | 4.1953E+11 | 4.3262E+11 | 4.37447E+11 | 4.40524E+11 | 4.43455E+11 | 4.46181E+11 |
| 0.4 | 4.1047E+11 | 4.23288E+11 | 4.27936E+11 | 4.30822E+11 | 4.33873E+11 | 4.36603E+11 |
| 0.39 | 4.0153E+11 | 4.14087E+11 | 4.19061E+11 | 4.22176E+11 | 4.25145E+11 | 4.2782E+11 |
| 0.38 | 4.9203E+11 | 4.49579E+11 | 4.398E+11 | 4.35863E+11 | 4.34469E+11 | 4.34211E+11 |

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa pada keandalan 0,39 dengan siklus $N=1$, didapatkan nilai C_{Er} terkecil. Jadi, untuk komponen *bearing 2-P-303 A*, interval waktu perawatan yang digunakan adalah 2482,913 hari. Sedangkan interval waktu perawatan untuk komponen *failure finding task* didapatkan melalui formulasi FFI. Berikut adalah

hasil perhitungannya.

Tabel 5.
Interval Waktu Perawatan untuk komponen *failure finding task*

| No. | Nama Komponen | Utive | MTBF (tahun) | FFI (tahun) |
|-----|---------------------------------|-------|--------------|-------------|
| 1 | By pass PV 401 | 0.8 | 10 | 16 |
| 2 | By pass PV 403 | 0.8 | 10 | 16 |
| 3 | By pass PV 712 | 0.85 | 10 | 17 |
| 4 | Bearing pompa 2-P-401 stand by | 0.5 | 5 | 5 |
| 5 | Shaft pompa 2-P-401 stand by | 0.5 | 5 | 5 |
| 6 | Impeller pompa 2-P-401 stand by | 0.5 | 5 | 5 |

4) *Validasi*

Validasi dilakukan untuk memutuskan kebijakan perawatan yang paling tepat untuk digunakan. Validasi ini membandingkan hasil kebijakan perawatan yang dihasilkan melalui hasil perhitungan dan hasil penyesuaian dengan TA serta kondisi eksisting. Parameter yang dibandingkan dalam validasi ini adalah total biaya perawatan per tahun yang dikeluarkan oleh masing-masing kebijakan perawatan.

5) *Analisis Sensitivitas*

Analisa sensitivitas dilakukan untuk mengetahui dampak perubahan terhadap variabel yang ditentukan secara subyektif, yaitu faktor yang menyebabkan berkurangnya umur komponen (a), faktor yang meningkatkan *failure rate* (b), dan *additional replacement cost* (Cost) pada perhitungan interval waktu perawatan untuk komponen *scheduled restoration task* serta *unavailability* yang dikehendaki (U_{tive}) pada perhitungan interval waktu perawatan untuk komponen *failure-finding task*.

6) *Persediaan Spare Part*

Perhitungan persediaan *spare part* hanya dilakukan untuk komponen yang pada aktivitas perawatannya membutuhkan penggantian komponen. Penggunaan *spare part* ini didasarkan pada interval waktu perawatan yang telah dihitung pada tahap sebelumnya. Agar persediaan *spare part* tidak menimbulkan biaya yang tinggi, maka tidak dilakukan penyimpanan *spare part* untuk menghindari adanya biaya penyimpanan. Jadi, perlu diperhitungkan waktu pemesanan yang tepat agar tidak terjadi biaya penyimpanan. Waktu pemesanan ini dapat ditentukan dari periode pada saat komponen diperlukan untuk digunakan dikurangi dengan *lead time*. Hal ini dilakukan untuk mengurangi waktu simpan yang menimbulkan biaya penyimpanan.

III. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini antara lain adalah.

- a) Fungsi utama dari sub sistem evaporasi adalah untuk meningkatkan konsentrasi larutan urea dari 75% hingga menjadi 99,8%.
- b) Hasil analisis FMEA akan dijadikan dasar dalam menentukan kebijakan perawatan.

- c) Interval waktu perawatan dihitung berdasarkan kebijakan perawatan yang digunakan.
- d) Interval waktu perawatan yang digunakan sebagian besar merupakan interval waktu perawatan hasil penyesuaian dengan TA. Akan tetapi terdapat 3 komponen yang interval perawatannya dihasilkan dari hasil perhitungan, yaitu *bearing 2-P-303 A*, *mechanical seal 2-P-303 A*, dan *bearing 2-P-401 A*. Hal ini dikarenakan ketiga komponen tersebut tidak menyebabkan *shut down* jika terjadi kegagalan sehingga jika dilakukan *maintenance* pada kondisi produksi normal tidak diperlukan *shut down* sub sistem.
- e) Perhitungan persediaan *spare part* hanya dilakukan untuk komponen yang pada aktivitas perawatannya membutuhkan penggantian komponen dan penggunaannya didasarkan pada interval waktu perawatan. Waktu pemesanan ini dapat ditentukan dari periode pada saat komponen diperlukan untuk digunakan dikurangi dengan *lead time*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Weny Yuliana Sari mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, ilmu, inspirasi, dan takdir yang terbaik bagi umat-Nya, kepada kedua orang tua atas doa restu, semangat dan motivasi, dan tidak lupa kepada Bapak Yudha Prasetyawan selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan arahan dan nasehat selama penyelesaian Tugas Akhir. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas segala bantuan dan doa dalam penyelesaian penelitian Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Priyanta, D. *Keandalan dan Perawatan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, (2000).
- [2] Moubrey, J. *Reliability Centered Maintenance (RCM) II* (2nd ed.). New York: Industrial Press, (1997).
- [3] Jaarsveld, W. v., & Dekker, R., Spare part stock control for redundant system using reliability centered maintenance data. *Reliability Engineering and System Safety*, (2011) 1576-1586.
- [4] Zhao, Y., On preventive maintenance policy of a critical reliability level for system subject to degradation. *Reliability Engineering & System Safety*, (2003)301-308.
- [5] Zhou, X., et al., Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation. *Reliability Engineering and System Safety*, (2004)530-534.
- [6] Ebeling, C. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. McGraw Hill, (1997).
- [7] O'Connor, P. D. *Practical Reliability Engineering*. New York: John Wiley & Sons Ltd., (1995).
- [8] Corder, G. *Maintenance: Techniques and Outlook*. British Council, (1980).
- [9] Pham, H., & Wang, H. Imperfect maintenance. *European Journal of Operational Research*, (1996)425-438.
- [10] Silver, E. A., et al. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. New York: John Wiley & Sons, Inc., (1998).
- [11] Huiskonen, J. Maintenance spare part logistics: Special characteristics and strategic choices. *International journal of production economic*, (2001)125-133.