

PENENTUAN INTERVAL PERAWATAN MESIN AIR SEPARATION PLANT SECARA PREVENTIVE DOWNTIME MAINTENANCE DENGAN MENGUNAKAN METODE AGE REPLACEMENT PADA PT. XYZ

Nidaru Ainul Fikri¹⁾, Endang Pudji Widjajati²⁾

^{1, 2)} Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
e-mail: nidarufikri@gmail.com¹⁾, Endangp.ti@upnjatim.ac.id²⁾

ABSTRAK

Salah satu cara untuk dapat meningkatkan tingkat produktivitas adalah dengan cara mengurangi waktu downtime pada mesin produksi. Secara umum, waktu downtime dibagi menjadi dua jenis, yaitu *planned downtime* dan *unplanned downtime*. Waktu downtime dapat diminimalisir dengan melakukan perawatan pencegahan/preventive maintenance. PT. XYZ adalah perusahaan yang bergerak di bidang produksi gas liquid oksigen, nitrogen, dan argon. Pada sistem perawatannya PT. XYZ masih menggunakan metode *corrective maintenance* dimana perbaikan akan dilakukan ketika telah terjadi kerusakan.

Maka dari itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan interval waktu perawatan menggunakan metode *age replacement*. Subjek dari penelitian ini adalah mesin air separation plant yang terdiri dari *recycle nitrogen compressor unit*, dan *argon purification unit*.

Berdasarkan analisa hasil yang didapatkan diketahui bahwa dengan metode *age replacement* interval waktu penggantian komponen yang optimal pada komponen Argon Purification Unit sebesar 32.400 menit, dan *Recycle Nitrogen Compressor Unit* sebesar 31.500 menit. dengan total biaya perawatan per tahunnya adalah sebesar Rp. 449.921.405. Dibandingkan dengan biaya perawatan pada perusahaan yang memiliki nilai sebesar Rp 3.115.210.778 maka sistem perawatan dengan menggunakan metode *age replacement* lebih efisien sebesar 69,23%.

Kata Kunci : *Maintenance, Interval, Age replacement, Downtime, Preventive*

ABSTRACT

One way to increase productivity is by reducing downtime on production machine in general, downtime is divided by *planned downtime* and *unplanned downtime*. Downtime can be minimized by conducting preventive maintenance. PT. XYZ is a company engaged liquid oksigen, nitrogen and argon manufacturing. In their maintenance system PT. XYZ is still using *corrective maintenance* method where repair will be conducted if any damage has been occurred.

There fore this research is conducted to determine maintenance time interval using *age replacement* method. This research subject is air separation plant consists of *filter unit*, *recycle nitrogen compressor unit*, and *argon purification unit*.

Based on the analysis of the results obtained, it is known that with the *age replacement* method the optimal component replacement time interval for the Argon Purification Unit component is 32,400 minutes, and the *Recycle Nitrogen Compressor Unit* is 31,500 minutes. with total annual maintenance costs of Rp. 449,921,405. Compared to the cost of maintenance in companies that have a value of Rp 3,115,210,778, the treatment system using the *age replacement* method is more efficient at 69,23%.

Key Words: *Maintenance, Interval, Age replacement, Downtime, Preventive*

I. PENDAHULUAN

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dibidang produksi gas *liquid* untuk keperluan industri di Indonesia. PT. XYZ menggunakan sistem produksi *continous process* sehingga diperlukan sistem perawatan yang baik untuk meminimalkan waktu breakdown dan memastikan mesin tetap berproduksi. Permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan ini adalah perawatan *corrective maintenance*. Jenis perawatan tersebut merupakan teknik perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki dan mengganti suatu komponen mesin ketika telah terjadi kerusakan dan mesin telah terhenti proses operasinya sehingga dapat menimbulkan kerugian akibat kehilangan produksi.

Mesin yang digunakan pada penelitian ini adalah *Air Separation Plant (ASP)*. Mesin di *Air Separation Plant (ASP)* digunakan untuk menghasilkan *liquid* industri seperti nitrogen, oksigen, dan Argon dengan cara distilasi dengan pendingin dan pemisahan kriogenik. Sebagai komponen utama dari proses pemisahan, *Air Separation Plant (ASP)* harus selalu beroperasi terus menerus selama 24 jam sehingga apabila mesin ini mengalami kerusakan akan menyebabkan terhentinya seluruh proses produksi. Sehubungan dengan permasalahan diatas, maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk memberikan alternatif interval waktu perawatan guna menghasilkan biaya perawatan yang paling minimum pada mesin *Air Separation Plant (ASP)* di PT. XYZ. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah *age replacement*. *Age replacement* adalah sesuatu metode perawatan mesin yang digunakan untuk menentukan umur komponen dan interval waktu penggantian komponen yang bertujuan memberikan ekspektasi biaya perawatan terendah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perawatan

Dalam bahasa Indonesia, pemakaian istilah *maintenance* seringkali diterjemahkan sebagai perawatan atau pemeliharaan. Perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) adalah konsepsi dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas fasilitas/mesin agar dapat berfungsi dengan baik seperti kondisi awalnya. (Ansori, 2013) Perawatan adalah bentuk kegiatan yang dilakukan untuk mencapai hasil yang mampu mengembalikan item atau mempertahankannya pada kondisi yang selalu dapat berfungsi. (Arsyad, 2013) Perawatan juga merupakan kegiatan pendukung yang menjamin kelangsungan mesin dan peralatan sehingga pada saat dibutuhkan dapat dipakai sesuai dengan yang diharapkan. Sehingga kegiatan perawatan merupakan seluruh rangkaian aktivitas yang dilakukan untuk mempertahankan unit-unit pada kondisi operasional dan aman, dan apabila terjadi kerusakan maka dapat dikendalikan pada kondisi operasional yang handal dan aman. (Bachtiar, 2015)

Model proses perawatan sebagai proses transformasi ringkas dalam sistem perusahaan yang digambarkan dalam model input-output. Proses pemeliharaan yang dilakukan akan mempengaruhi tingkat ketersediaan (*availablity*) fasilitas produksi, laju produksi, kualitas produk akhir (*end product*), ongkos produksi dan keselamatan operasi. (Rofi, 2018) Faktor-faktor ini selanjutnya akan mempengaruhi tingkat keuntungan (*profitability*) perusahaan. Proses perawatan yang dilakukan tidak saja membantu kelancaran produksi sehingga produk yang dihasilkan tepat waktu diserahkan kepada pelanggan, tetapi juga menjaga fasilitas dan peralatan tetap efektif dan efisien dimana sasarannya adalah mewujudkan nol kerusakan (*zero breakdown*) pada mesin-mesin yang beroperasi. (Sudrajat, 2011)

Dalam menjaga kesinambungan proses produksi dalam fasilitas dan peralatan seringkali dibutuhkan kegiatan pemeliharaan seperti pembersihan (*cleaning*), inspeksi (*inspection*), pelumasan (*oiling*), serta pengadaan suku cadang (*stock spare part*) dari

komponen yang terdapat dalam fasilitas industri. (Rizqi, 2016) Masalah perawatan mempunyai kaitan erat dengan tindakan pencegahan (*preventive*) dan perbaikan (*corrective*). Tindakan pada problematika perawatan tersebut dapat berupa:

- Pemeriksaan (*inspection*) yaitu tindakan yang ditujukan untuk sistem/mesin agar dapat mengetahui apakah sistem berada pada kondisi yang diinginkan.
- Service, yaitu tindakan yang bertujuan untuk menjaga suatu sistem/mesin yang biasanya telah diatur dalam buku petunjuk pemakaian mesin.
- Penggantian komponen (*replacement*), yaitu tindakan penggantian komponen-komponen yang rusak/tidak memenuhi kondisi yang diinginkan. Tindakan ini mungkin dilakukan secara mendadak atau dengan perencanaan pencegahan terlebih dahulu.
- Perbaikan (*repairment*), yaitu tindakan perbaikan yang dilakukan pada saat terjadi kerusakan kecil.
- Overhaul, tindakan besar-besaran yang biasanya dilakukan pada akhir periode tertentu. (Sulistiawan, 2014)

B. Keandalan (*Reliability*)

Reliability atau keandalan menunjukkan keberadaan atau kondisi suatu fasilitas. (Kurniawan, 2013) Kondisi tersebut dapat dikatakan positif ataupun negatif. Konsep *reliability* melibatkan metode statistik. *Reliability* juga dapat dikuantifikasikan dengan menggunakan rata-rata banyaknya kegagalan dalam rangka waktu tertentu (*failure rate*). (Otto, 2001) Dapat pula dinyatakan sebagai lamanya waktu rata-rata antar kegagalan (*mean time between failure, MTBF*). *Reliability* akan mempengaruhi *availability* atau keberadaan alat untuk berfungsi dengan baik terutama untuk produk/barang yang *repairable* (dapat diperbaiki). (Praharsi, 2015)

C. Penjadwalan Perawatan

Penjadwalan sebagai proses pengalokasian sumber-sumber untuk memilih sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. (Agus, 2002) Jadi penjadwalan berfungsi sebagai alat pengambil keputusan yakni menetapkan jadwal kerja.

Sedang arti penjadwalan dalam sistem kerja perawatan merupakan rencana kerja yang tersusun dan saling terkait satu sama lainnya dengan berbasis waktu guna mengefektifkan kerja, sehingga akan diperoleh hasil yang baik. (Kennet, 2014) Penjadwalan ini dibuat dalam suatu bentuk daftar komprehensif dari tugas perawatan, pemeliharaan ataupun perbaikan untuk menghindari dari kerusakan yang akan terjadi. Tujuan dari penjadwalan perawatan adalah:

- Meningkatkan utilitas sumber yang dimiliki, meningkatnya utilitas berarti berkurangnya waktu menganggur sumber tersebut.
- Mengurangi jumlah pekerjaan yang menunggu dan jumlah pekerjaan yang terlambat.

D. *MTTF (Mean Time to Failure)*

Keandalan untuk suatu sistem seringkali dinyatakan dalam bentuk angka yang menyatakan ekspektasi masa pakai sistem atau alat tersebut, yang dinotasikan dengan $E[T]$ dan sering disebut rata-rata waktu kerusakan atau *mean to failure (MTTF)*. (Hariyanto, 2017) *MTTF* hanya digunakan pada komponen atau alat-alat yang sering sekali mengalami kerusakan dan harus diganti dengan komponen atau alat yang masih baru atau baik. Rata-rata waktu kerusakan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E[T] = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

$$= - \int_0^{\infty} t \frac{dR}{dt} dt = -tR(t)|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots(1)$$

Karena $R(\infty)$ adalah 0, sehingga diperoleh:

$$E[T] = \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots(2)$$

E. *MTTR(Mean Time to Repair)*

Baker MTTR adalah rata-rata waktu komponen untuk dilakukan perbaikan atau perawatan (*repair*). MTTR didasarkan atas lamanya perbaikan dan penggantian komponen yang mengalami kerusakan (*failure*). (Tama, 2017) MTTR dirumuskan sebagai berikut:

$$E[T] = \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots(3)$$

F. *Biaya Perawatan*

Biaya *preventive maintenance* terdiri atas biaya-biaya yang timbul dari kegiatan pemeriksaan dan penyesuaian peralatan, penggantian atau perbaikan komponen-komponen, dan kehilangan waktu produksi yang diakibatkan oleh kegiatan-kegiatan tersebut. (Vidiasari, 2015) Biaya *corrective maintenance* adalah biaya-biaya yang timbul bila peralatan rusak atau tidak dapat beroperasi, yang meliputi kehilangan waktu produksi, biaya pelaksanaan pemeliharaan ataupun biaya penggantian peralatan. (Witonohadi, 2011)

Perawatan yang baik akan dilakukan dalam jangka waktu tertentu dan pada waktu proses produksi sedang tidak berjalan. (Djunaidi, 2007) Disisi lain bila perawatan tidak dilakukan akan mengurangi performa kerja mesin tersebut. Ongkos perawatan dapat diringkas menjadi dua, yaitu:

- Ongkos pemeliharaan akibat diadakannya perawatan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin tau komponennya.
- Ongkos perbaikan yang dilakukan akibat terjadinya kerusakan komponen kritis pada mesin atau peralatan tersebut disamping biaya untuk penggantian suku cadangnya.

G. *Age Replacement*

Metode penentuan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi *downtime* yang digunakan adalah *Age Replacement* (Yanti, 2015). Pada model *age replacement* ini terdapat dua macam siklus penggantian, yaitu:

- Siklus pertama ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur penggantian (t_p) sesuai dengan yang telah direncanakan.
- Siklus kedua ditentukan melalui komponen yang telah mencapai kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya. (Dewantara, 2014)

Berikut ini adalah variabel-variabel yang terkait pada metode *age replacement*:

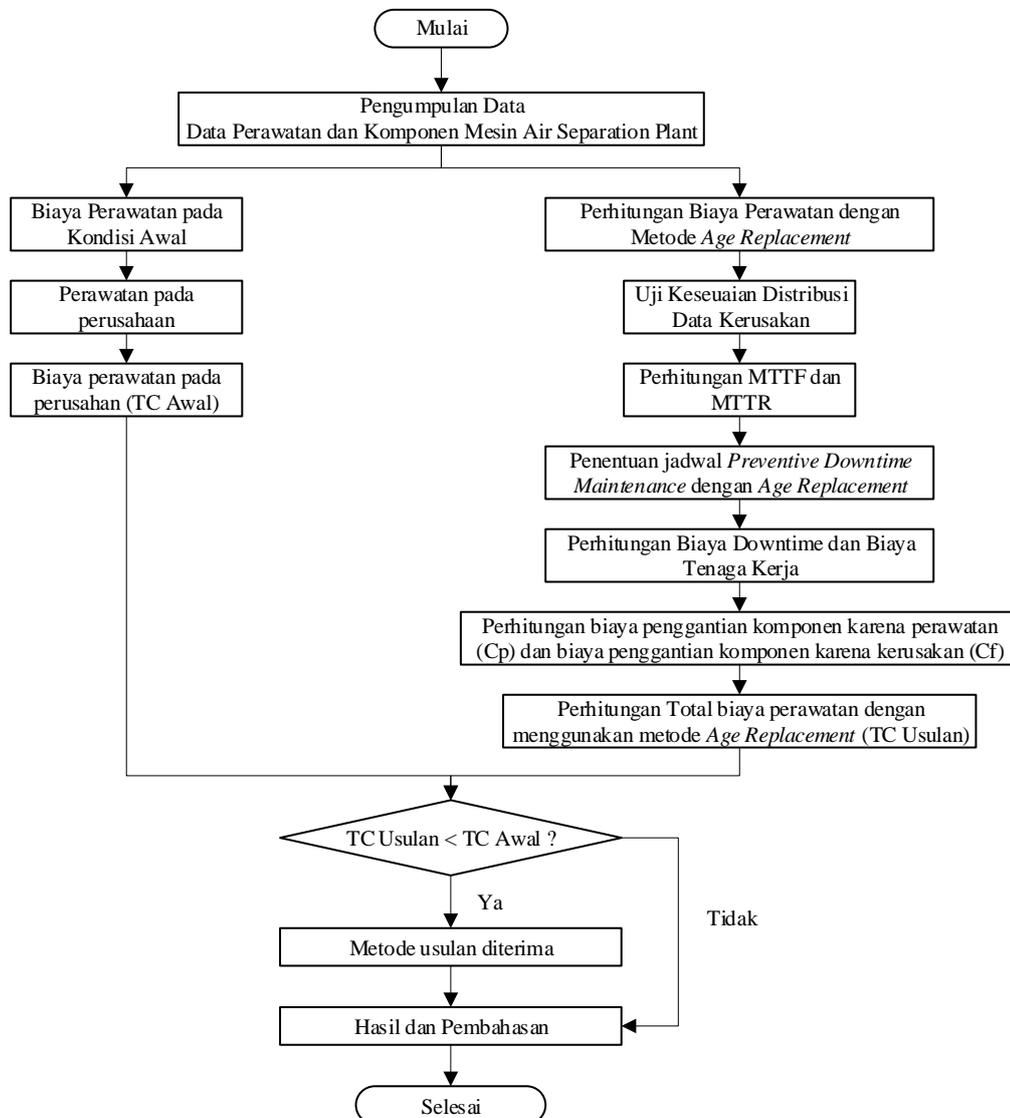
- *MTTF (Mean Time to Failure)* dan *MTTR (Mean Time to Repair)*
MTTF (Mean Time to Failure) merupakan nilai rata-rata waktu kegagalan yang akan datang dari sebuah sistem (komponen), *MTTR (Mean Time to Repair)* adalah waktu rata-rata untuk waktu pengecekan atau perbaikan saat komponen tersebut diperiksa sampai komponen tersebut digunakan dan dihidupkan kembali. (Mital, 2008)
- Interval waktu penggantian pencegahan (t_p)
Variabel ini adalah variabel yang akan dicari titik optimalnya.
- *Downtime* yang terjadi karena penggantian kerusakan (T_f)
Variabel ini adalah rata-rata waktu perbaikan yang diakibatkan karena kerusakan komponen secara tiba-tiba dan tidak terencana dan diakhiri dengan kegiatan penggantian komponen.
- *Downtime* yang terjadi karena penggantian pencegahan (T_p)
Variabel ini adalah rata-rata waktu perbaikan yang sudah terencana sebelumnya.
- Keandalan komponen atau probabilitas komponen andal $[R(t_p)]$

Nilai variabel ini besarnya adalah sama dengan nilai fungsi keandalan mesin, dimana nilainya dapat dicari setelah distribusi data diketahui.

- Probabilitas kegagalan komponen ($F(tp)$)
Fungsi ini menggambarkan probabilitas kerusakan yang terjadi dalam suatu rentang waktu tertentu.
- Nilai probabilitas total *downtime* per satuan waktu [$D(tp)$]
Variabel ini bertindak sebagai indikator apakah nilai variabel interval penggantian pencegahan telah menghasilkan *downtime* minimal.
- Nilai *maintenability* [$M(tp)$]
Merupakan waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan saat tp . (Tarigan, 2013)

III. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian, perlu dilakukan langkah-langkah pemecahan masalah, berikut merupakan langkah-langkah pemecahan masalah dengan menggunakan metode *Age Replacement*,



GAMBAR 1 LANGKAH-LANGKAH DAN PEMECAHAN MASALAH

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Sebelum melakukan pengolahan data, maka langkah awal yang perlu dilakukan adalah mengumpulkan data yang berhubungan dengan objek penelitian yaitu mesin *Air Separation Plant (ASP)*. Data historis kerusakan komponen mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pada bulan Januari 2019 sampai dengan Desember 2019. Data tersebut meliputi:

1. Daftar Mesin dan Komponen Mesin

Data Komponen mesin *Air Separation Plant (ASP)* adalah sebagai berikut:

TABEL I KOMPONEN MESIN AIR SEPARATION PLANT (ASP)

Mesin	Komponen Mesin	
Air Separation Plant	Komponen Penyusun Utama	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i> <i>Argon Purification Unit</i>

Sumber: Data Sekunder/Data Perusahaan

2. Data Sub Komponen Kritis Mesin Air Separation Plant (ASP)

Sub komponen kritis pada mesin *Air Separation Plant (ASP)* adalah sebagai berikut.

TABEL II SUB KOMPONEN KRITIS MESIN AIR SEPARATION PLANT (ASP)

No.	Components	Sub-Components
1	<i>Argon Purification Unit</i>	<i>Pressure Compressor</i> <i>Argon Regulator</i> <i>Compressor Separator</i> <i>Temperatur Heater</i>
2	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	<i>Pressure Nitrogen Compressor</i> <i>Nitrogen Oxide Detector</i> <i>Gas Leak Detection System</i> <i>Gate Valve</i>

Sumber: Data Sekunder/Data Perusahaan

3. Data Waktu Kerusakan dan Perbaikan Komponen Mesin Air Separation Plant (ASP)

Data waktu kerusakan dan perbaikan komponen pada mesin *Air Separation Plant (ASP)* meliputi data sebagai berikut:

TABEL III DATA KERUSAKAN DAN PERBAIKAN KOMPONEN MESIN
AIR SEPARATION PLANT (ASP) BULAN JANUARI 2019 – DESEMBER 2019

No	Tanggal	Components	Downtime (Minutes)
1	04/01/2019	<i>Argon Purification Unit</i>	120
2	06/01/2019	<i>Argon Purification Unit</i>	83
3	12/01/2019	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	90
4	13/01/2019	<i>Argon Purification Unit</i>	86
5	14/01/2019	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	83
6	11/02/2019	<i>Argon Purification Unit</i>	85
7	14/03/2019	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	65
8	19/03/2019	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	62
9	16/04/2019	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	86
10	15/06/2019	<i>Argon Purification Unit</i>	90
11	18/06/2019	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	50
12	23/06/2019	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	53
13	25/06/2019	<i>Argon Purification Unit</i>	86
14	02/07/2019	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	42

15	17/07/2019	Argon Purification Unit	32
16	28/07/2019	Recycle Nitrogen Compressor Unit	75
17	29/07/2019	Argon Purification Unit	120
18	18/08/2019	Recycle Nitrogen Compressor Unit	85
19	25/08/2019	Recycle Nitrogen Compressor Unit	62
20	31/08/2019	Recycle Nitrogen Compressor Unit	60
21	04/09/2019	Recycle Nitrogen Compressor Unit	65
22	25/09/2019	Recycle Nitrogen Compressor Unit	85
23	26/09/2019	Recycle Nitrogen Compressor Unit	85
24	01/10/2019	Argon Purification Unit	78
25	02/10/2019	Argon Purification Unit	120
26	10/10/2019	Recycle Nitrogen Compressor Unit	45
27	20/11/2019	Argon Purification Unit	55
28	09/12/2019	Recycle Nitrogen Compressor Unit	68
29	17/12/2019	Argon Purification Unit	60

Sumber: Data Sekunder/Data Perusahaan

4. Harga Komponen Mesin Air Separation Plant (ASP)

Komponen yang ada pada mesin Air Separation Plant (ASP) meliputi data dimana biaya pembelian masing-masing komponen dapat dilihat pada tabel berikut:

TABEL IV BIAYA PEMBELIAN KOMPONEN

No.	Components	Sub-Components	Prices
1	Argon Purification Unit	Pressure Compressor	Rp25.500.000
		Argon Regulator	Rp72.000.000
		Compressor Separator	Rp8.100.000
		Temperatur Heater	Rp2.800.000
		Pressure Nitrogen Compressor	Rp25.500.000
2	Recycle Nitrogen Compressor Unit	Nitrogen Oxide Detector	Rp2.376.000
		Gas Leak Detection System	Rp2.892.000
		Gate Valve	Rp17.852.000

Sumber: Data Sekunder/Data Perusahaan

5. Data Biaya Standar pada Perusahaan

Berdasarkan data sekunder yang didapatkan dari perusahaan, biaya tenaga kerja dan kapasitas produksi dapat dilihat pada tabel berikut:

TABEL V BIAYA TENAGA KERJA DAN HARGA PRODUK

No	Nama	Jumlah	Satuan
1	Jumlah Operator	2	Orang
2	Jumlah Mekanik	2	Orang
3	Gaji Operator	4.000.000	Rupiah/bulan/orang
4	Gaji Mekanik	5.000.000	Rupiah/bulan/orang
5	Kapasitas Produksi	Oksigen	1.841
		Nitrogen	1.420
		Argon	56
	Total Kapasitas Produksi	3.317	M ³ /jam
6	Harga Jual Produk	Oksigen	5.000
		Nitrogen	11.000
		Argon	14.000
	Total Jual Produksi	30.000	M ³ /rupiah
7	Biaya Produksi	4.124	M ³ /rupiah

Sumber: Data Sekunder/Data Perusahaan

B. Pengolahan Data

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan maka selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk menentukan interval perawatan yang paling optimum guna menghasilkan

biaya yang paling minimum dengan menggunakan metode *age replacement*.

1. Biaya Perawatan pada Perusahaan

Perawatan yang dilakukan oleh perusahaan hanya pada saat terjadinya kerusakan pada mesin, hal yang dilakukan adalah mengganti komponen yang rusak tersebut. Berdasarkan data informasi dari perusahaan, untuk biaya perawatan komponen dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL VI DATA BIAYA PERAWATAN PADA PERUSAHAAN

No.	Components	Sub-Components	Prices (Each Year)
1	Argon Purification Unit	Pressure Compressor	Rp153.000.000
		Argon Regulator	Rp432.000.000
		Compressor Separator	Rp48.600.000
		Temperatur Heater	Rp22.400.000
2	Recycle Nitrogen Compressor Unit	Pressure Nitrogen Compressor	Rp153.000.000
		Nitrogen Oxide Detector	Rp14.256.000
		Gas Leak Detection System	Rp17.352.000
		Gate Valve	Rp107.112.000
Total			Rp157.018.000

Sumber: Data Sekunder/Data Perusahaan

2. Perhitungan Biaya Perawatan dengan Metode *Age replacement*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui total biaya perawatan mesin *Air Separation Plant (ASP)* dengan menggunakan metode *age replacement*. Adapun langkah-langkah perhitungan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Uji Kesesuaian Distribusi Data Kerusakan

Berdasarkan data pada tabel 3 sampai tabel 6 maka dapat ditentukan kesesuaian distribusi data kerusakan komponen mesin *Air Separation Plant (ASP)* dengan menggunakan *software Minitab 17*. Distribusi 1 merupakan uji distribusi waktu *downtime* komponen sedangkan distribusi 2 merupakan uji distribusi jarak waktu antar kerusakan komponen. Berikut ini adalah tabel hasil pengujian distribusi pada masing-masing komponen.

TABEL VII HASIL PENGUJIAN DISTRIBUSI

No.	Komponen	Keterangan	Jenis	Parameter	
			Distribusi	β (shape)	η (scale)
1	Argon Purification Unit	Distribusi 1	Weibull	3,73254	93,7960
		Distribusi 2	Weibull	1,13941	36313,6
2	Recycle Nitrogen Compressor Unit	Distribusi 1	Weibull	5,31681	74,3259
		Distribusi 2	Weibull	0,967798	30413,3

Sumber: Data diolah

2. Perhitungan MTTR dan MTTF

Setelah diperoleh distribusi serta parameter masing-masing distribusi pada tabel 7, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan *Mean Time To Repair (MTTR)* dan *Mean Time To Failure (MTTF)* dengan menggunakan rumus

$$MTTR/MTTF = \eta\Gamma(1+1/\beta).$$

TABEL VIII PERHITUNGAN MTTF DAN MTTR

No.	Komponen	MTTR (Menit)	MTTF (Menit)
1	Argon Purification Unit	84,83	34.682,02
2	Recycle Nitrogen Compressor Unit	68,45	30.413,3

Sumber: Data diolah

3. Penentuan Jadwal *Preventive Maintenance* dengan Metode *Age replacement*

Setelah mendapatkan nilai MTTR dan MTTF, maka langkah selanjutnya adalah membuat penjadwalan perawatan. Penjadwalan yang dibuat adalah penjadwalan

penggantian komponen yang optimal. Hal ini dilakukan dengan metode *age replacement*, dimana metode ini bertujuan untuk meminimasi *downtime* yang terjadi.

Hal pertama yang dilakukan adalah mencari nilai *downtime* yang terkecil pada saat tp. Sebagai contoh, diketahui pada tabel 8 nilai MTTR dan MTTF pada komponen *Argon Purification Unit*. Parameter yang digunakan adalah jarak waktu antar kerusakan/distribusi 2 karena parameter tersebut digunakan untuk menentukan nilai tp yang merupakan waktu penggantian komponen yang paling optimal. Komponen *Argon Purification Unit* berdistribusi *weibull* dengan nilai parameter $\eta = 36313,6$ dan $\beta = 1,13941$. Berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan *age replacement* dari masing-masing komponen.

TABEL IX WAKTU PENGGANTIAN PENCEGAHAN KOMPONEN

No.	Komponen	tp (menit)
1	<i>Argon Purification Unit</i>	32.400
2	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	31.500

Sumber: Data diolah

4. Perhitungan Biaya *Downtime* dan Biaya Tenaga Kerja

Selanjutnya Berdasarkan tabel 9 biaya tenaga kerja dan biaya *downtime* dapat dihitung menggunakan rumus

- Biaya *Downtime*
Biaya *Downtime* = Harga Jual Produk – Biaya Produksi x Output per Jam
- Biaya Kerugian Akibat Mesin *Downtime*
(Waktu *Downtime* Komponen)/(Konversi Waktu per Jam) x Biaya *Downtime* per Jam
- Biaya Mekanik
Biaya Mekanik = (Gaji/bulan (Rp))/(Jam Kerja/bulan (Jam))
- Biaya Operator
Biaya Operator = (Gaji/bulan (Rp))/(Jam Kerja/bulan (Jam))

Dengan cara yang sama perhitungan manual biaya kerugian akibat operator menganggur untuk setiap komponen dapat dilihat pada lampiran G. Berdasarkan perhitungan diatas maka didapatkan hasil biaya kerugian akibat *downtime* dan operator menganggur sebagai berikut :

TABEL X KERUGIAN MASING-MASING KOMPONEN

No.	Komponen	Kerugian Akibat <i>Downtime</i>	Kerugian Akibat Operator Menganggur
1	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp171.661.384	Rp133.328
2	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp118.732.457	Rp92.219
3	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp128.746.038	Rp99.996
4	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp123.023.992	Rp95.552
5	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp118.732.457	Rp92.219
6	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp121.593.480	Rp94.441
7	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp92.983.250	Rp72.219
8	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp88.691.715	Rp68.886
9	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp123.023.992	Rp95.552
10	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp128.746.038	Rp99.996
11	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp71.525.577	Rp55.553
12	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp75.817.111	Rp58.887
13	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp123.023.992	Rp95.552
14	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp60.081.484	Rp46.665
15	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp45.776.369	Rp35.554
16	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp107.288.365	Rp83.330
17	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp171.661.384	Rp133.328
18	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp121.593.480	Rp94.441
19	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp88.691.715	Rp68.886
20	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp85.830.692	Rp66.664
21	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp92.983.250	Rp72.219
22	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp121.593.480	Rp94.441
23	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp121.593.480	Rp94.441
24	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp111.579.900	Rp86.663
25	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp171.661.384	Rp133.328

26	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp64.373.019	Rp49.998
27	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp78.678.134	Rp61.109
28	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp97.274.784	Rp75.553
29	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp85.830.692	Rp66.664
Total		Rp3.112.793.097	Rp2.417.681

Sumber: Data diolah

5. Perhitungan Biaya Penggantian Komponen Karena Perawatan (Cp) dan Biaya Penggantian Komponen Karena Kerusakan (Cf)

- Biaya penggantian komponen karena perawatan (Cp)
Biaya ini meliputi tenaga kerja operator, biaya tenaga kerja maintenance atau mekanik, dan harga komponen. Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya penggantian karena perawatan adalah:

$$Cp = [(Biaya operator + Biaya mekanik) \times MTTR] + \text{Harga komponen}$$

- Biaya penggantian komponen karena kerusakan (Cf)
Biaya penggantian ini meliputi biaya operator, biaya mekanik, biaya kehilangan produksi, dan harga komponen dimana keseluruhan biaya tersebut merupakan kerugian yang diakibatkan karena kerusakan komponen. Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya penggantian karena kerusakan adalah:

$$Cf = [(Biaya operator + Biaya mekanik + Biaya kehilangan produksi \text{ per jam}) \times MTTR + \text{Harga komponen}]$$

6. Perhitungan Total Biaya Perawatan dengan Menggunakan Metode *Age replacement*

Perhitungan total biaya perawatan dihitung berdasarkan frekuensi penggantian optimal yang didapatkan dengan cara membagi jumlah hari dalam setahun yang telah dikonversi menjadi menit dengan waktu penggantian optimal (tp), MTTR, TC per satuan waktu, dan harga komponen. Selanjutnya dapat dihitung biaya perawatan total pada sub komponen *Pressure Compressor* yang didapatkan dengan cara mengalikan nilai MTTR, TC, dan jumlah menit dalam setahun yang dibagi dengan nilai tp, kemudian ditambahkan dengan harga komponen. Perhitungan total biaya perawatan dapat dilihat sebagai berikut:

$$TC^* = (((365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \times 60 \text{ menit}) / tp) \times MTTR \times TC) + \text{Harga komponen}$$

TABEL XI PERHITUNGAN TOTAL BIAYA PER TAHUN MENGGUNAKAN *AGE REPLACEMENT*

No	Komponen	Sub Komponen	Total Biaya (Rupiah/tahun)
1	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp28.088.461	Rp28.259.153
2	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp4.270.734	Rp28.259.153
3	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp75.514.213	Rp75.711.376
4	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp20.208.959	Rp20.390.502
5	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp27.664.209	Rp27.934.940
6	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp20.208.959	Rp20.390.502
7	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp9.759.047	Rp10.057.306
8	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp9.759.047	Rp10.057.306
9	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp27.664.209	Rp27.934.940
10	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp20.208.959	Rp20.390.502
11	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp4.305.176	Rp4.611.820
12	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp9.759.047	Rp10.057.306
13	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp4.270.734	Rp4.474.227
14	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp4.305.176	Rp4.611.820
15	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp4.802.215	Rp5.004.975
16	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp4.305.176	Rp4.611.820
17	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp4.802.215	Rp5.004.975
18	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp27.664.209	Rp27.934.940
19	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp9.759.047	Rp10.057.306
20	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp4.305.176	Rp4.611.820
21	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp9.759.047	Rp10.057.306
22	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp27.664.209	Rp27.934.940
23	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp27.664.209	Rp27.934.940
24	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp28.088.461	Rp28.259.153
25	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp4.802.215	Rp5.004.975

26	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp4.305.176	Rp4.611.820
27	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp4.270.734	Rp4.474.227
28	<i>Recycle Nitrogen Compressor Unit</i>	Rp9.759.047	Rp10.057.306
29	<i>Argon Purification Unit</i>	Rp4.802.215	Rp5.004.975
Total			Rp449.921.405

Sumber: Data diolah

C. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan perhitungan diatas, maka selanjutnya akan dilakukan analisa hasil dan pembahasan. Berdasarkan data perawatan pada perusahaan dapat diketahui bahwa metode perawatan yang diterapkan pada perusahaan adalah *corrective maintenance* sehingga perawatan hanya dilakukan pada saat terjadinya kerusakan dan mesin telah berhenti beroperasi. Sehingga didapatkan total biaya perawatan per tahun-nya sebesar Rp 3.115.210.778,- per tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka dapat diketahui bahwa pada metode *age replacement* interval waktu penggantian komponen yang optimal pada komponen *Argon Purification Unit* sebesar 32.400 menit, dan komponen *Recycle Nitrogen Compressor Unit* sebesar 31.500 menit dengan total biaya perawatan per tahun-nya adalah sebesar Rp Rp 449.921.405,-. Maka selanjutnya dapat dihitung efisiensi antara biaya perawatan pada perusahaan dengan metode usulan.

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{TC Perusahaan}}{\text{TC Usulan}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{Rp } 3.115.210.778}{\text{Rp } 449.921.405} \times 100\% = 69,23\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui apabila total biaya pada perusahaan sebesar Rp 3.115.210.778,- per tahun dan total biaya usulan sebesar Rp 449.921.405,- per tahun, maka didapatkan nilai efisiensi metode usulan/ *age replacement* terhadap metode awal adalah sebesar 69,23%. Sehingga metode perawatan usulan dengan *age replacement* dapat diterima.0,2117.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan biaya perawatan pada mesin *Air Separation Unit* (ASP) di PT. XYZ dapat diketahui bahwa metode perawatan usulan yang terpilih adalah *age replacement* dengan interval waktu penggantian komponen yang optimal pada komponen *Argon Purification Unit* sebesar 32.400 menit, dan komponen *Recycle Nitrogen Compressor Unit* sebesar 31.500 menit dengan total biaya perawatan per tahun-nya adalah sebesar Rp Rp 449.921.405,-. Maka selanjutnya dapat dilakukan perbandingan antara biaya perawatan pada metode usulan yang terpilih *age replacement* dengan biaya perawatan pada perusahaan yang memiliki nilai sebesar Rp 3.115.210.778,- per tahun.

Dari angka tersebut dapat diketahui perbandingan antara total biaya perawatan dengan metode usulan yang terpilih *age replacement* dengan total biaya perawatan pada perusahaan, dimana biaya yang dikeluarkan oleh metode usulan yang terpilih *age replacement* lebih kecil dibandingkan dengan total biaya perawatan pada perusahaan setiap tahun-nya dengan nilai efisiensi sebesar 69,23%. Sehingga metode perawatan usulan dengan *age replacement* dapat diterima.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, Ahyari. 2002. Manajemen Produksi dan Pengendalian Produksi. Yogyakarta: BPFE.
- Ansori dan Mustajib. 2013. Sistem Perawatan Terpadu. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Arsyad, M. dan Mustajib, M.I. 2013. Sistem Perawatan Terpadu. Yogyakarta : Penerbit Deepublish
- Bachtiar, D.P., Kusumanngrum, dan Helianty, Y. 2015 Penjadwalan Perawatan Preventive pada Mesin Slotting di CV. Cahaya Abadi Teknik. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional. Vol. 03 (04).pp. 296-307.
- Dewantara, M. F. (2018). Penjadwalan Preventive Maintenance Dengan Metode Age Replacement (Studi Kasus Di Koperasi Agro Niaga Jabung, Kabupaten Malang) (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Djunaidi, M., & Sufa, M. F. (2007). Usulan interval perawatan komponen kritis pada mesin pencetak botol (mould gear) berdasarkan kriteria minimasi downtime.
- Hariyanto, S. Rahayuningsih dan H. Santoso. 2017. Analisa Preventive Maintenance System dengan Modularity Design pada PT. Surya Pamenang. JATI UNIK. Vol. 01 (01). pp. 24-29.
- Kennet, R., Z. Shelemyahu dan D. Amberti. 2014. Modern Industrial Statistics with Applications in R, Minitab, and JMP 2nd Edition. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- Kurniawan, Fajar. 2013. Manajemen Perawatan Industri, Teknik, dan Aplikasi. Yogyakarta: Graha Ilmu. Iopment. New Jersey: Prentice Hall.
- Mital, A., A. Desai, A. Subramanian dan A. Mital. 2008. Product Development: A Structured Approach to Consumer Product Development, Design, and Manufacture. Netherlands: Elsevier Science.
- Otto dan Wood. 2001. Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Deve
- Praharsi, Y., Sriwana, I. K., & Sari, D. M. (2015). Perancangan Penjadwalan Preventive Maintenance pada PT. Artha Prima Sukses Makmur. Jurnal Ilmiah Teknik Industri, 14(1), 59-65.
- Rizqi Awaludin, M. (2016). PERENCANAAN PERAWATAN MESIN STONE CRUSHER DENGAN MENGGUNAKAN METODE AGE REPLACEMENT DI PT. VARIA USAHA BETON PLANT PANDAAN PASURUAN. Jurnal Teknik Mesin, 4(03).
- Rofi, Muhammad. 2018. Alat Mesin Pertanian. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sudrajat, Ating. 2011. Pedoman Praktis Manajemen Perawatan Mesin Industri. Bandung: Refika Aditama.
- Sulistiawan, A. (2014). PREVENTIVE MAINTENANCE PADA MESIN FILTER AIR DENGAN MENGGUNAKAN METODE AGE REPLACEMENT SEBAGAI PENGOPTIMALAN BIAYA DOWN TIME DI CV. SEGAR MURNI MOJOKERTO. Jurnal Teknik Mesin, 3(02).
- Tama, S.G. dan Iskandar. 2017. Penentuan Interval Waktu Optimal Penggantian Komponen Wire Screen pada Mesin Wire Part dengan Metode *Age replacement* di PT. Mount Dream Indonesia. Jurnal Teknik Mesin. Vol. 05 (02). pp 175-182.
- Tarigan, P., E. Ginting dan I. Siregar. 2013. Perawatan Mesin Secara Preventive Maintenance dengan Metode *Age replacement* pada PT. RXZ. e-Jurnal Teknik Industri FT USU. Vol. 03 (03). pp. 35-39.
- Vidiasari D., K. Soemadi dan F.H. Mustofa. 2015. Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal Komponen Sistem Printing Unit U41 Menggunakan Metode *Age replacement* di PT. Pikiran Rakyat. Reka Integra. Vol. 03 (01). pp. 152-163.
- Witonohadi, A., T.G. Amran dan N. Herawati. 2011. Usulan Perawatan Mesin Secara Preventive dengan Pendekatan Metode *Age replacement* Desain pada PT. BAI. Jurnal Teknik Industri Universitas Trisakti. Vol. 03 (01). pp 1-9.
- Yanti, Vivi Tri. 2015. Penerapan Preventive Maintenance dengan Menggunakan Metode Metode *Age replacement* pada Mesin Goss di PT. ABC. Surabaya. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.