

Optimasi Penjadwalan dan Usulan *Preventive Maintenance* pada Mesin Turbin menggunakan Model *Age Replacement*

Vera Devani¹, Cek Nur Maidila²

Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR Soebrantas Km.18 No. 155 Pekanbaru, 28292
e-mail: veradevani@gmail.co.id ceknurmaidila@gmail.com

Abstrak

Di era globalisasi, peningkatan konsumen pada kebutuhan energi berupa energi listrik. Proses produksi di ULPTG bersifat *continuous process*, yang mengakibatkan seringnya terjadi penghentian operasi (*downtime*), dan mengakibatkan proses produksi harus terhenti untuk melakukan perbaikan. Penggunaan mesin secara terus menerus akan mengakibatkan performa mesin menurun dalam jangka waktu tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan nilai MTTF dan nilai MTTR, menentukan interval waktu *maintenance*, menentukan nilai *availability*, mengidentifikasi kerusakan mesin turbin. Berdasarkan analisa *relationship diagram* didapatkan penyebab utama keterlambatan penjadwalan pemeriksaan mesin adalah lingkungan kerja yang terlalu padat dan cuaca yang ekstrim dikarenakan memiliki panah masuk yang paling banyak. Adapun faktor penyebab lainnya yaitu *human error* dan masa pakai mesin.

Kata kunci : *Age Replacement*, *New Seven Tools*, *RCM*, *Seven Tools*

Abstract

In the era of globalization, consumer demand for energy is increasing in the form of electrical energy. The production process at ULPTG is a *continuous process*, which results in frequent *downtime*, and results in the production process having to stop to make improvements. Continuous use of the engine will result in decreased engine performance for a certain period of time. The purpose of this study is to determine the MTTF value and MTTR value, determine the maintenance time interval, determine the *availability* value, identify turbine engine damage. Based on the *relationship diagram* analysis, it was found that the main causes of delays in scheduling machine inspections were a work environment that was too crowded and extreme weather due to having the most incoming arrows. The other contributing factors are *human error* and the life of the machine.

Keywords : *Age Replacement*, *New Seven Tools*, *RCM*, *Seven Tools*

1. Pendahuluan

Peningkatan pemakaian energi terjadi setiap tahunnya 0,60 sampai 1 kWh/kapita. Energi listrik dapat dihasilkan melalui pembangkit tenaga listrik. Pembangkit tenaga listrik di Indonesia menurut kementerian ESDM terdiri dari 8 jenis, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbasis batubara, gas alam atau bahan bakar minyak (BBM), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang menggunakan tenaga air sebagai penggerak turbin, Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG), Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang menggunakan bahan bakar BBM. Jumlah pembangkit listrik di Indonesia secara keseluruhan berjumlah 5235 unit [1].

Proses produksi di PT PLN, ULPTG TL bersifat *continuous process*, sehingga apabila salah satu mesin atau peralatan mengalami kerusakan atau kegagalan maka menyebabkan terhentinya keseluruhan fungsi. Kerusakan mesin atau peralatan secara tiba-tiba merupakan permasalahan besar yang sering ditemui di ULPTG yang mengakibatkan seringnya terjadi penghentian operasi (*downtime*), dan mengakibatkan proses produksi harus terhenti untuk melakukan perbaikan. Penggunaan mesin secara terus menerus akan mengakibatkan performa

mesin menurun dalam jangka waktu tertentu. Hal ini dapat menimbulkan kerugian besar di dalam perusahaan, terganggunya proses produksi, menimbulkan kecelakaan kerja serta menimbulkan biaya-biaya yang besar. Selama 3 bulan terakhir tahun 2019 data pemeriksaan bulan September sampai November sebagai berikut:

Tabel 1. Data Pemeriksaan Bulan September sampai November 2019

No	Jenis mesin	Bulan	Uraian		
			Jam Periodik dalam 1 Bulan JP (jam)	Jam Kerja setelah MI/MO (jam)	Jam Kerja Semenjak Operasi (jam)
1	PLTG II	September	720	3,786.14	76,705.89
		Oktober	744	3,050.71	75,970.46
		November	720	4,344.02	15,169.87
2	PLTG III	September	720	14,332.24	14,332.24
		Oktober	744	13,999.36	13,999.36
		November	720	77,263.77	15,169.87

Berdasarkan Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa waktu *downtime* pada setiap kegiatannya memiliki waktu yang berbeda-beda dengan selisih waktu dari standar perusahaan yaitu minimal waktu 4-8 jam dan maksimal sampai 1-2 bulan jika dibutuhkan pemesanan mesin baru. Dengan demikian perlu dilakukan penanganan agar waktu *downtime* tidak mempengaruhi penyaluran listrik untuk masyarakat.

Perawatan atau *maintenance* adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas dan peralatan pabrik, dan mengadakan perbaikan, penyesuaian, atau penggantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi yang memuaskan, sesuai dengan yang direncanakan. Model *Age Replacement* adalah suatu model penggantian dimana interval waktu penggantian komponen dilakukan dengan memperhatikan umur pemakaian dari komponen tersebut, sehingga dapat menghindari terjadinya penggantian peralatan yang masih baru dipasang akan diganti dalam waktu yang relatif singkat. Model ini akan menyesuaikan kembali jadwalnya setelah penggantian komponen dilakukan, baik akibat terjadi kerusakan maupun hanya bersifat sebagai perawatan pencegahan [2].

Penelitian terdahulu mengenai usulan penjadwalan *preventive maintenance* pada komponen kritis mesin *stone crusher* menggunakan Model *Age Replacement*. Hasil yang didapatkan *preventive maintenance* menurunkan downtime selama 245 jam dalam setahun [3].

Penelitian sebelumnya penentuan interval waktu perawatan komponen kritis pada mesin turbin di PT PLN Sektor Pembangkit Ombilin. Hasil yang didapatkan *preventive maintenance* tetap sama, namun nilai *downtime* menurun [4].

2. Metode Penelitian

Data pendahuluan yang digunakan di bulan September sampai November tahun 2019 pada mesin PLTG I dan PLTG II. Tools yang digunakan pada pengolahan data *reliability centered maintenance* (RCM) dan model *age replacement*. Analisa data menggunakan *histogram*, *affinity diagram* dan *relationship diagram*.

Pengolahan yang dilakukan dalam mencapai tujuan penelitian dengan menggunakan metode *age replacement* yaitu interval waktu penggantian komponen dengan memperhatikan umur pemakaian dari komponen sebagai berikut [5]:

- Penentuan mesin kritis untuk mengetahui nilai kekritisan dari suatu mesin atau komponen
- Penentuan komponen kritis dengan menghitung *downtime* untuk setiap komponen mesin, hitung total *downtime*, hitung presentasi *downtime*. *downtime* merupakan tolak ukur lamanya waktu yang dibutuhkan agar alat dapat berfungsi kembali, maka proses perawatan tersebut akan terdiri dari urutan-urutan [6].
- Waktu kerusakan dan perbaikan yaitu lamanya waktu yang dibutuhkan
- Perhitungan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan nilai *Mean Time to Repair* (MTTR) pada komponen turbin. Berikut ini adalah cara perhitungan MTTF atau MTBF untuk masing-masing distribusi [7]:

- Distribusi Normal

μ

2. Distribusi Eksponensial

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

3. Distribusi Weibull

$$MTBF = \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$$

Optimal preventive age replacement untuk meminimasi *downtime*, dengan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan pada komponen membran turbin. Dengan rumus sebagai berikut :

$$D(tp) = \frac{Tp \cdot R(tp) + Tf(1 - R(tp))}{(tp + Tp) \cdot R(tp) + (M(tp) + Tf)(1 - R(tp))}$$

Keterangan:

t_p = Interval waktu penggantian pencegahan per satuan waktu.

T_f = Waktu yang diperlukan untuk penggantian karena kerusakan.

T_p = *Downtime* yang terjadi karena kegiatan penggantian.

$f_{(t)}$ = Fungsi distribusi interval waktu antar kerusakan.

$R_{(tp)}$ = Keandalan terjadinya siklus i pada saat tp .

$M_{(tp)}$ = Waktu rata-rata terjadinya suatu kerusakan,

Analisa data dilakukan dengan beberapa cara antara lain sebagai berikut:

- Histogram alat seperti grafik batang dirancang untuk menunjukkan distribusi frekuensi. Distribusi frekuensi menunjukkan frekuensi setiap nilai yang berbeda dalam kumpulan data [8].
- Affinity Diagram* untuk mengumpulkan dan mengatur banyak fakta, opini, dan ide. Selain itu, mendorong kreativitas, dan mendorong pengungkapan keterbatasan fakta dan opini serta kondisi yang ada dengan mengelompokkan elemen informasi tersebut sesuai dengan kesamaan dan relevansi informasi [9].
- Relationship Diagram yaitu alat untuk menemukan solusi masalah dengan hubungan yang kompleks [10].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Rekapitulasi nilai MTTF dan MTTR dari komponen bearing, Rumah Turbin dan roda turbin yang dapat dilihat tabel 2:

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai MTTF untuk Komponen Kritis

Mesin Kritis	Komponen Kritis	Distribusi Kerusakan	Parameter	MTTF (Jam)	Aktivitas Perawatan
Turbin #2					
Steam Turbin	Bearing	Lognormal	S = 2,36 t med = 228,88	228,88	Pemeriksaan
	Rumah Turbin	Normal	$\sigma = 1886,79$ $\mu = 3526,41$	3526,41	Pemeriksaan
Turbin #3					
Steam Turbin	Bearing	Lognormal	S = 3,66 t med = 229,87	186299,76	Pemeriksaan
	Roda turbin	Eksponensial	$\lambda = 0,00033$	3030.303	Pemeriksaan

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai MTTR untuk Komponen Kritis

Mesin Kritis	Komponen Kritis	Distribusi Kerusakan	Parameter	MTTR (Jam)	Aktivitas Perawatan
Turbin #2					
Steam Turbin	Bearing	Lognormal	S = 0,555 t med = 0,888	1,035	Pemeriksaan
	Rumah Turbin	Weibull	$\theta = 1,99$ $\beta = 1,17$	3,690	Penggantian
Turbin #3					
Steam Turbin	Bearing	Lognormal	S = 0,625 t med = 0,978	1,188	Pemeriksaan
	Roda turbin	Weibull	$\theta = 1,82$ $\beta = 1,09$	3,489	Penggantian

3.2. Model Age Replacement

- a. Model Optimal *Preventive Age Replacement* untuk meminimasi *Downtime*
 Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan pada komponen rumah turbin dengan kriteria minimasi *downtime*. Berdasarkan penentuan distribusi kerusakan komponen Rumah Turbin berdistribusi normal. Data-data yang telah diketahui adalah :

$$M(tp) = \frac{MTTF}{1-R(tp)}$$

$$M(3000) = \frac{3526,41}{1-0,6040} = 8905,07$$

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp)+Tf.(1-R(tp))}{(tp+Tp).R(t)+(M(tp)+Tf).(1-R(tp))}$$

$$D(3000) = \frac{3,690*0,604+3,690*(1-0,604)}{(3000+3,690)*0,604+(8905,07+3,690)*(1-0,604)} = 0,0006907$$

$$A(tp) = 1 - D(tp)_{min}$$

$$A(tp) = 1 - 0,0006907 = 0,9993$$

- b. Perhitungan Waktu Pemeriksaan Optimal pada Komponen Rumah Turbin
 Perhitungan waktu optimal pemeriksaan komponen rumah turbin:

1. Waktu yang dibutuhkan perusahaan untuk pemeriksaan rumah turbin adalah 240 menit atau 4 jam
2. Jumlah pemeriksaan (k)
 - 1 Bulan = 30 hari kerja, 1 hari 24 jam kerja
 - t = 30 hari/bulan x 24 jam/hari = 720 jam/bulan
 - jumlah kerusakan rumah turbin selama 1 tahun = 1 kali

$$k = \frac{\text{jumlah kerusakan selama 1 tahun}}{12 \text{ bulan}}$$

$$k = \frac{1}{12 \text{ bulan}} = 0,0833$$

3. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk perbaikan (1/μ)
 - MTTR = 3,690 jam
 - t = 720 jam/bulan
 - 1/μ = MTTR/t
 - 1/μ = 0.00512
 - μ = 195,1219

4. Waktu rata-rata melakukan pemeriksaan (1/i)
 - Waktu untuk melakukan pemeriksaan (ti) = 240 menit
 - Ti = 4 jam
 - t = 720 jam/ bulan

$$\frac{1}{i} = \frac{ti}{t}$$

$$\frac{1}{i} = \frac{4}{720} = 0,00556$$

$$i = 179,8561$$

5. Perhitungan frekuensi dan interval pemeriksaan

$$n = \sqrt{\frac{k.i}{\mu}}$$

$$n = \sqrt{\frac{0,0833*179,8561}{195,1219}} = 0,2770 \text{ pemeriksaan/ bulan}$$

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = \frac{t}{n}$$

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = \frac{720}{0,2770} = 2599,2779 \text{ jam}$$

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = 108 \text{ hari}$$

6. Perhitungan nilai downtime

$$D(n) = \frac{k}{\mu n} + \frac{1}{i}$$

$$D(n) = \frac{0,0833}{54,0487} + \frac{1}{179,8561} = 0,00710$$

7. Perhitungan *Availability*

$$A(tp) = 1 - D(tp)_{min} = 1 - 0,00710 = 0,9928$$

Rekapitulasi dari hasil perhitungan sebagai berikut pada tabel 4.

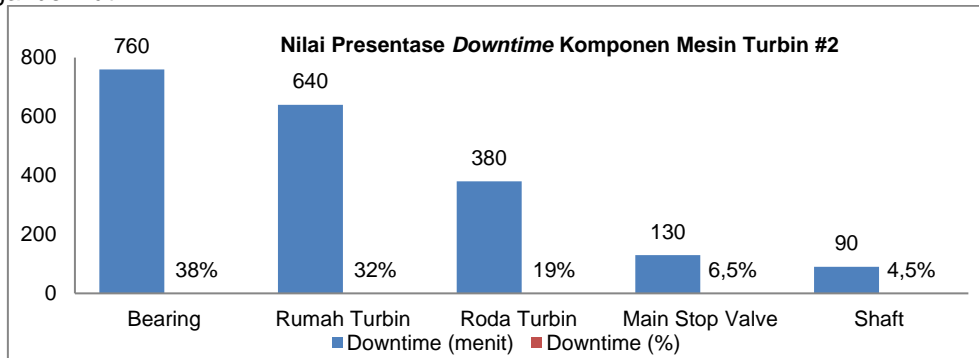
Tabel 4 Perhitungan Waktu Pemeriksaan Optimal

Komponen	Interval Pemeriksaan	Nilai Downtime	Nilai Availability
Bearing #2	204 hari	0,00661	0,99339
Rumah Turbin	108 hari	0,00710	0,9929
Bearing #3	190 hari	0,00667	0,99333
Roda Turbin	111 hari	0,00729	0,99271

Tabel 4 perhitungan waktu pemeriksaan optimal bahwa mesin turbin #2 interval waktu terbesar pada komponen bearing #2 yaitu nilai 204 hari dengan nilai *downtime* 0,00661 dan nilai *availability* adalah 0,99339, sedangkan nilai rumah turbin yaitu interval waktu 108 hari dengan nilai *downtime* 0,00710 dan nilai *availability* adalah 0,9929. Untuk mesin turbin #3 interval waktu terbesar pada komponen roda turbin yaitu nilai 111 hari dengan nilai *downtime* 0,00729 dan nilai *availability* adalah 0,99271, sedangkan nilai bearing #3 yaitu interval waktu 109 hari dengan nilai *downtime* 0,00667 dan nilai *availability* adalah 0,09933.

3.3. Histogram

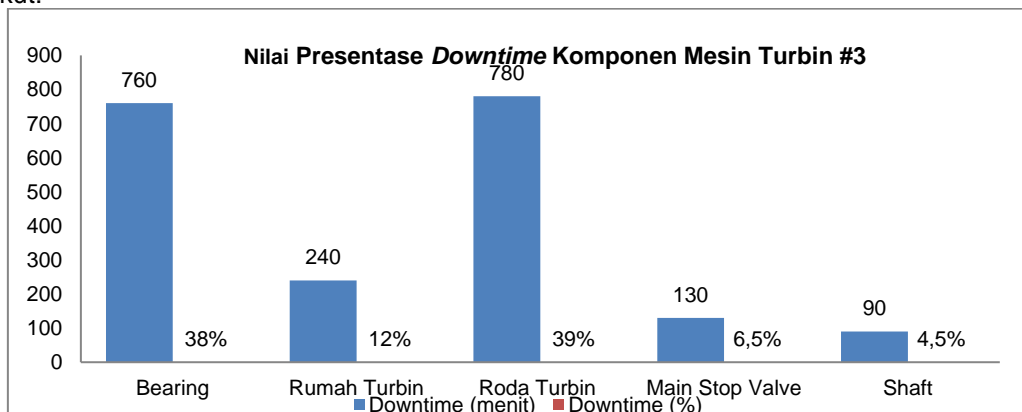
Gambar *Histogram* nilai presentase *downtime* komponen mesin turbin #2 (Gambar 1) sebagai berikut.



Gambar 1. *Histogram* Nilai Presentase *Downtime* Komponen Mesin Turbin #2

Berdasarkan *Histogram* Nilai Persentase *Downtime* Komponen Mesin Turbin #2 (Gambar 1) bahwa 2 dari 5 komponen integral tidak memenuhi standar yang telah ditentukan yaitu 20%. Komponen dengan *downtime* terlama yang melebihi standar perusahaan adalah komponen bearing dengan nilai 38% dan komponen turbin dengan nilai 32%. Dibandingkan dengan standar yang ditetapkan, komponen *bearing* dalam kondisi buruk sehingga perlu ditangani karena tidak mengoptimalkan kualitas produksi dan memerlukan perawatan.

Histogram nilai presentase *downtime* komponen mesin turbin #3 (Gambar 2) sebagai berikut:



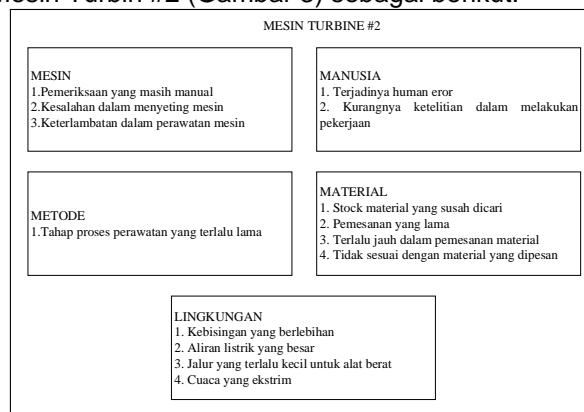
Gambar 2. *Histogram* Nilai Presentase *Downtime* Komponen Mesin Turbin #3

Berdasarkan *Histogram* Nilai Persentase *Downtime* Mesin Turbin #3 (Gambar 2) dapat dilihat bahwa 2 dari 5 integral part tidak memenuhi standar yang telah ditentukan yaitu 20%. Komponen dengan *downtime* terlama yang melebihi standar perusahaan adalah komponen bantalan dengan nilai 38% dan komponen roda turbin dengan nilai 32%. Dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan, komponen bantalan dalam kondisi yang buruk sehingga perlu ditangani karena tidak mengoptimalkan kualitas produksi dan memerlukan pemeriksaan dan perawatan.

3.4. Affinity Diagram

Hasil pengolahan data *Affinity Diagram* sebagai berikut :

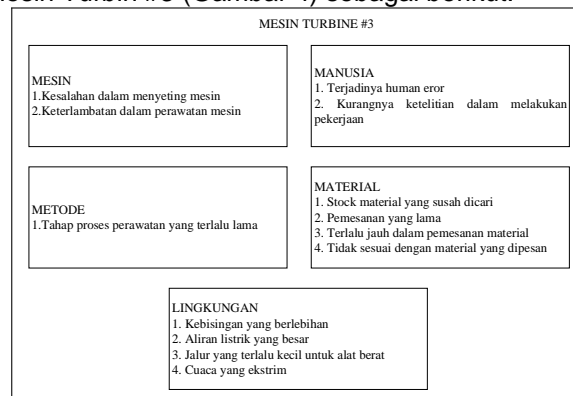
a. *Affinity Diagram* Mesin Turbin #2 (Gambar 3) sebagai berikut:



Gambar 3. *Affinity Diagram* Mesin Turbin #2

Berdasarkan *Affinity Diagram* Mesin Turbin #2 (Gambar 3), ada masalah utama dari perspektif kategori mesin, ada 3 alasan masalah, yaitu inspeksi manual mesin atau kontrol mesin manual, karena tidak secara otomatis diperbarui, mesin tidak diatur dengan benar dan keterlambatan perawatan mesin memiliki dua penyebab manusia, yaitu kesalahan manusia dan pekerjaan yang tidak akurat. Kategori metode menyebabkan proses pemeliharaan menjadi terlalu lama, karena kategori material, persediaan material sulit ditemukan, pesanan lama, material yang dipesan terlalu jauh, dan tidak sesuai dengan material yang dipesan, serta juga dipengaruhi oleh kategori lingkungan yang menyebabkan kebisingan yang berlebihan. Untuk peralatan yang besar, jalannya terlalu kecil, sehingga harus mencari alternatif lain, sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama, dan karena pemeliharaan yang bermasalah daerah rawan dan listrik dipicu oleh cuaca ekstrim, perlu perhatian khusus pada cuaca selama pemeliharaan Kondisi.

b. *Affinity Diagram* Mesin Turbin #3 (Gambar 4) sebagai berikut:

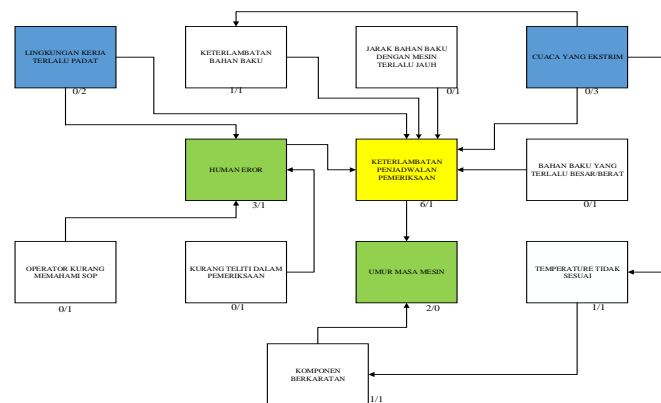


Gambar 4. *Affinity Diagram* Mesin Turbin #3

Berdasarkan *Affinity Diagram* Mesin Turbin #3 (Gambar 4) diperoleh faktor penyebab utama, dari kategori mesin terdapat 2 penyebab masalah yaitu kesalahan dalam menyeting mesin dan keterlambatan dalam perawatan mesin, yang diakibatkan dikategori manusia terdapat 2 penyebab yaitu terjadinya human eror dan kurangnya ketelitian dalam melakukan pekerjaan. Kategori metode penyebabnya tahap proses perawatan yang terlalu lama, dikarenakan pada kategori material penyebab permasalahannya *stock* material yang susah dicari, pemesanan yang lama, terlalu jauh dalam pemesanan material dan tidak sesuai dengan material yang dipesan, juga dipengaruhi oleh kategori lingkungan yang penyebabnya kebisingan yang berlebihan, aliran listrik yang besar, jalur yang terlalu kecil untuk alat besar sehingga harus mencari alternatif yang lain sehingga memakan waktu yang cukup lama dan dipicu dengan cuaca yang ekstrim karena perawatan pada daerah yang rawan dengan listrik, sehingga diperlunya perhatian khusus dalam perawatan dengan melihat keadaan cuaca.

3.5. Relationship Diagram

Analisa yang dapat diambil dari hasil pengolahan data *Relationship Diagram* sebagai berikut :



Gambar 5. Relationship Diagram

Berdasarkan *Relationship Diagram* (Gambar 5), disimpulkan bahwa penyebab utama kertelambatan penjadwalan pemeriksaan mesin adalah lingkungan kerja yang terlalu padat dan cuaca yang ekstrim dikarenakan memiliki panah masuk yang paling banyak. Adapun faktor penyebab lainnya yaitu *human error* dan masa pakai mesin.

Hasil penelitian [3], menunjukkan dengan *preventive maintenance* memiliki nilai *Reliability* (R) rata-rata 5,61% lebih besar, nilai *Availability* (A) rata-rata 0,08% lebih besar, serta memiliki nilai *Downtime* (D) rata-rata 0,08% lebih kecil dibandingkan *corrective maintenance*. Dalam interval waktu 1 tahun yaitu 8.760 jam, waktu *downtime corrective maintenance* adalah 730 jam, sedangkan waktu *downtime preventive maintenance* hanya 485 jam, maka *preventive maintenance* menurunkan *downtime* selama 245 jam dalam setahun.

Penelitian sebelumnya [4], bahwa mesin kritis adalah mesin turbin dengan nilai total 44. Komponen-komponen kritis dari mesin turbin adalah membrane turbine, bearing dan turning gear. Interval waktu pemeriksaan untuk setiap komponen kritis adalah 960.48 jam (40 hari), 908.57 jam (37 hari) dan 1150.28 jam (48 hari). Interval penggantian untuk mencegah kerusakan bagi komponen turbine membrane adalah setelah beroperasi selama 3410 jam. Penggantian untuk komponen bearing dapat dilakukan pada saat overhaul setelah beroperasi selama 8000 jam dan interval penggantian untuk komponen turning gear adalah setelah beroperasi selama 4500 jam. Nilai reliabilitas untuk setiap komponen kritis sebelum dan setelah *preventive maintenance* tetap sama, namun nilai *downtime* bagi setiap komponen menurun. Nilai *availability* total untuk setiap komponen kritis melebihi 95%.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diperoleh penurunan waktu *downtime* dan penentuan mesin kritis dengan waktu pemeriksaan optimal. Dapat disimpulkan menggunakan metoda *age replacement* dapat menurunkan nilai *downtime* karena nilai *availability* pada

komponen kritis adalah tidak lebih ≥ 1 . Dengan menggunakan *Afinity Diagram* dapat ditentukan klasifikasi permasalahan berdasarkan mesin, manusia, metoda, material dan lingkungan. Penyebab utama pada keterlambatan penjadwalan pemeriksaan yaitu lingkungan kerja yang terlalu padat, cuaca ekstrim, adanya *human eror* dan masa mesin.

Dua penelitian sebelumnya, hanya menjelaskan hasil yang diperoleh dengan metode yang digunakan, tidak memberikan solusi yang jelas terhadap masalah yang dihadapi. Pada penelitian yang dilakukan menggunakan *New Seven Tool* yaitu *Affinity Diagram* dan *Relationship Diagram* dapat memberikan solusi. Dengan menggunakan *Affinity Diagram* dapat diklasifikasikan permasalahan sedangkan *Relationship Diagram* dapat ditentukan faktor penyebab utama permasalahan.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa menggunakan metode *preventive maintenance* menghasilkan nilai *availability* untuk komponen kritis tidak melebihi ≥ 1 . Penyebab faktor utama mesin turbin adalah lingkungan kerja yang terlalu padat dan cuaca yang ekstrim. Adapun faktor lainnya, *human error* dan masa pakai mesin memiliki panah masuk paling banyak, jadi untuk menghindari penundaan penjadwalan pemeriksaan. Berdasarkan analisa menggunakan *Affinity Diagram* terdapat kesalahan dalam menyeting mesin dan keterlambatan dalam perawatan mesin, diakibatkan *human error* dan kurangnya ketelitian dalam melakukan pekerjaan. Adapun tahap proses perawatan yang terlalu lama, karena *stock* material yang susah dicari, pemesanan yang lama, terlalu jauh dalam pemesanan material dan tidak sesuai dengan material yang dipesan, juga dipengaruhi lingkungan yang bising yang, aliran listrik yang besar, jalur yang terlalu kecil untuk alat besar sehingga harus mencari alternatif yang lain sehingga memakan waktu yang cukup lama dan dipengaruhi cuaca yang ekstrim karena perawatan pada daerah yang rawan dengan listrik, sehingga diperlunya perhatian khusus dalam perawatan dengan melihat keadaan cuaca. Sebaiknya perusahaan mempertimbangkan rantai pasok dalam pemesanan komponen turbin dan mempertimbangkan penambahan karyawan agar tidak terjadinya *human error*, dan mengabaikan kerugian perusahaan.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Energi Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2017. <https://www.esdm.go.id/id/publikasi/statistik>.
- [2] Prawiro, Y. Y. (2015). Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis Pada Mesin Volpack Menggunakan Metode Age Replacement. *Jurnal Teknik Industri*, 16(2), 92-100
- [3] Karunia, R., ferro Ferdinant, P., dan Febianti, E. (2017). Usulan Penjadwalan Preventive Maintenance Pada Komponen Kritis Mesin Stone Crusher Menggunakan Model Age Replacement. *Jurnal Teknik Industri Untirta*, (1).
- [4] Taufik, & Septyani, S. (2015). Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Turbin di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Vol.14, No.02
- [5] Prawiro, Y. Y. (2015). Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis Pada Mesin Volpack Menggunakan Metode Age Replacement. *Jurnal Teknik Industri*, 16(2), 92-100.
- [6] Sari, N. K., Puryani, P., dan Soepardi, A. (2018). Penjadwalan Kegiatan Pemeliharaan untuk Memaksimalkan Availabilitas Mesin. *Opsi*, 11(2), 105-111.
- [7] Ebeling, C. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintability Engineering*. University of Dayton. Dayton.
- [8] Devani, V & Diniaty, D. (2015). Pengantar Teknik Industri. Pekanbaru:Offset.
- [9] Fauzia, A. I., & Hariastuti, N. L. P. (2019). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Beras dengan Metode Six Sigma dan New Seven Tools. *Jurnal Senopati: Sustainability, Ergonomics, Optimization, and Application of Industrial Engineering*, 1(1), 1-10.
- [10] Chandradevi, A., & Puspitasari, N. B. (2016). Analisa Pengendalian Kualitas Produksi Botol X 500 ML Pada PT. Berlina, Tbk Dengan Menggunakan Metode New Seven Tools. *Industrial Engineering Online Journal*, 5(4).