

ANALISIS TINGKAT KENDALAN DAN PENENTUAN INTERVAL WAKTU PERAWATAN MESIN POMPA DISTRIBUSI PADA PDAM TIRTA MUARE ULAKAN SAMBAS

Eddy Kurniawan^{1*} dan Muhammad Taufiqurrahman²

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak,
Jl Prof Dr. H Hadari Nawawi, 78122

*Email : eddy_ugm@yahoo.com

ABSTRAK

Akhir-akhir ini yang menjadi kebutuhan manusia dan pelaku industri yang paling penting adalah kebutuhan akan tersedianya air bersih. Pada daerah Kabupaten Sambas Kalimantan Barat badan usaha pemerintah yang menangani tentang penyediaan air bersih adalah PDAM Tirta Muara Ulakan. Waktu penggunaan yang terlampaui sering pada pompa tersebut akan mengakibatkan terjadinya penurunan performa dari pompa dan hal ini yang akan menjadi sumber masalah yang di hadapi oleh PDAM. Dengan mengetahui keandalan pompa, teknisi dapat mengetahui pompa mana saja yang dapat bekerja secara optimal. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui keandalan dari masing-masing pompa dan menentukan interval waktu perawatan yang tepat pada setiap mesin di PDAM Tirta Muara Ulakan Sambas. Perhitungan nilai keandalan dan interval waktu perawatan bertujuan untuk melihat seberapa handal mesin-mesin yang ada di PDAM Tirta Muara Ulakan Sambas dan kapan waktu perawatan yang baik dalam mematikan mesin. Time To Failure (TTF) dan Time To Repair (TTR) merupakan metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, selanjutnya perhitungan distribusi antara lain distribusi Eksponensial, distribusi Normal, distribusi Weibull, dan distribusi Lognormal, kemudian menentukan distribusi yang memiliki index of fit tertinggi, langkah selanjutnya adalah perhitungan nilai keandalan mesin pompa Distribusi I, II, dan III, kemudian perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF) dan Mean Time To Failure (MTTR), terakhir yaitu perhitungan interval waktu perawatan mesin pompa Distribusi I, II, dan III. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai keandalan pada mesin pompa Distribusi I adalah 0,703 pada hari ke-16. Nilai keandalan pada mesin pompa Distribusi II adalah 0,701 pada hari ke-24. Nilai keandalan pada mesin pompa Distribusi III adalah 0,702 pada hari ke-19. Interval waktu perawatan pada mesin pompa Distribusi I yaitu maksimal 1.102,300 jam harus sudah dilakukan perawatan pencegahan. Pada mesin pompa Distribusi II yaitu maksimal 1.137,640 jam harus sudah dilakukan perawatan pencegahan. Perawatan pada mesin pompa Distribusi III yaitu maksimal 1.294,430 jam harus sudah dilakukan perawatan pencegahan.

Kata kunci: keandalan, perawatan, pompa

ABSTRACT

Recently, the most important need for human and industrial players is the need for clean water. In Sambas district, West Kalimantan, a government business entity dealing with clean water supply is PDAM Tirta Muara Ulakan. The overuse of frequent times at the pump will result in a decrease in the performance of the pump and this will be the source of the problems faced by the PDAM. By knowing the reliability of the pump, the technician can know which pumps can work optimally. The purpose of this research is to know the reliability of each pump and determine the appropriate interval of care time on each machine in PDAM Tirta Muara Ulakan Sambas. Calculation of reliability value and maintenance time interval aims to see how reliable the existing machines in PDAM Tirta Muara Ulakan Sambas and when the maintenance time is good in shutting down the machine. Time To Failure (TTF) and Time To Repair (TTR) are the research methods used in this study, then the distribution calculations include Exponential distribution, Normal distribution, Weibull distribution, and Lognormal distribution, then determine the distribution that has the highest index of fit, the next step is calculation of reliability value of Distribution machine I, II, and III, then calculation of Mean Time Between Failure (MTBF) and Mean Time To Failure (MTTR), the last is the calculation of time interval maintenance of Distribution machine I, II, and III. The results showed that the reliability value of Distribution I pump machine was 0.703 on the 16th day. The reliability value of the Distribution II pump machine is 0.701 on the 24th day. The reliability value of the pump machine of Distribution III was 0.702 on the 19th day. The interval of maintenance time at the pump machine of Distribution I that is maximum 1,102,300 hours should have been done preventive maintenance. In Distribution II pump machine that is maximal 1,137,640 hours should have been done preventive care. Treatment on pumping machine Distribution III is maximal 1,294,430 hours should have been done preventive care.

Keywords : Reliability, maintenance, pump

PENDAHULUAN

Metode pengolahan air dilakukan untuk memenuhi kebutuhan manusia akan air. Pengolahan air yang dilakukan bertujuan untuk menjadikan air layak dikonsumsi sehingga aman bagi kesehatan manusia. Untuk memenuhi kebutuhan air bersih itu, pemerintah mendirikan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM).

Menurut Ansori dan Mustajib (2013), perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) adalah konsepsi dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kalitas fasilitas/mesin agar dapat berfungsi dengan baik seperti kondisi awalnya.

Menurut Kurniawan (2013), perawatan (*maintenance*) adalah aktivitas pemeliharaan, perbaikan, penggantian, pembersihan, penyetelan, dan pemeriksaan terhadap objek yang dirawat. Konsep ini berawal dari keinginan manusia untuk memperoleh kenyamanan dan keamanan terhadap objek yang dimilikinya, sehingga dapat memenuhi kebutuhan manusia, dapat berfungsi dengan baik dan dapat bertahan dalam jangka waktu yang diinginkan. Selain itu perawatan juga berawal dari keinginan manusia untuk memiliki sistem yang lebih teratur, rapih, bersih dan fungsional.

Adapun rumusan masalah yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana keandalan pada mesin pompa distribusi PDAM Tirta Muare Ulakan Sambas.
2. Bagaimana interval perawatan yang tepat pada mesin pompa distribusi PDAM Tirta Muare Ulakan Sambas.

Adapun tujuan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui keandalan dari masing-masing mesin pompa distribusi PDAM Tirta Muare Ulakan Sambas.
2. Menentukan interval waktu perawatan yang tepat untuk melakukan perawatan pada mesin distribusi PDAM Tirta Muare Ulakan Sambas.

METODE

Distribusi Kerusakan

Distribusi kerusakan menurut Ebeling (1997), adalah informasi dasar mengenai umur pakai suatu peralatan dalam suatu populasi

distribusi yang sering digunakan adalah Eksponensial, lognormal, normal, dan weibull. Ebeling (1997), juga menegaskan bahwa distribusi kerusakan ini dapat memenuhi berbagai fase kerusakan jika sampelnya tergolong kecil maka penaksiran parameter distribusi dilakukan dengan metode kuadrat terkecil (*Least Squares Curve Fitting*).

Data yang digunakan dalam perhitungan dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu data diskrit dan data kontinyu. Data diskrit adalah data yang berupa atribut (seperti baik atau buruk, tolak atau terima), atau kejadian (seperti kecelakaan, kelahiran). Sedangkan data kontinyu adalah yang merupakan data hasil perhitungan kuantitas (Walpole, 1995). Karena data waktu kerusakan merupakan hasil pengukuran maka data yang digunakan dalam perhitungan kerusakan adalah data kontinyu, sehingga distribusi yang sesuai dengan data kontinyu yaitu distribusi eksponensial, lognormal, normal, dan weibull.

Distribusi Eksponensial

Menurut Walpole, dkk (2003), sebaran eksponensial memainkan peranan penting baik didalam teori antrian dan masalah keandalan. Waktu diantara kedatangan di dalam fasilitas pelayanan, dan waktu hingga menacapai kegagalan suku cadang komponen dan sistem kelistrikan, sering dimodelkan dengan baik dengan sebaran eksponensial. Parameter yang digunakan dalam sebaran distribusi eksponensial menggunakan parameter tunggal yaitu parameter λ , dengan λ bisa diartikan sebagai jumlah nilai tengah kejadian per satuan "waktu".

Distribusi Lognormal

Sebaran lognormal digunakan dalam berbagai penerapan. Sebaran tersebut berlaku di dalam kasus-kasus suatu transformasi log alam akan menghasilkan sebuah sebaran normal. Peubah acak kontinu X mempunyai sebaran lognormal bila peubah acak $Y = \ln(X)$ mempunyai suatu sebaran normal dengan nilai tengah μ dan simpangan baku σ . (Walpole dkk, 2003). Distribusi Lognormal merupakan dua para parameter, yaitu s yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan t_{med} sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini memiliki berbagai macam bentuk sehingga sering dijumpai data yang sesuai

dengan distribusi weibull, juga sesuai dengan data dalam distribusi lognormal.

Distribusi Normal

Menurut Walpole (1995), distribusi normal atau yang grafiknya disebut kurva normal berbentuk lonceng. Yang menggambarkan dengan cukup baik banyak gejala yang muncul di alam, industri dan penelitian. Pengukuran fisik di bidang seperti percobaan meteorologi, penelitian curah hujan, dan pengukuran suku cadang yang diproduksi sering dengan baik dapat diterangkan dengan menggunakan distribusi normal. Disamping itu galat dalam pengukuran ilmiah dapat dihindari dengan sangat baik oleh distribusi normal. Persamaan matematika distribusi peluang peubah normal kontinu bergantung pada dua parameter yaitu μ (nilai tengah) dan σ (standard deviasi).

Distribusi Weibull

Teknologi modern telah memungkinkan orang untuk merancang berbagai sistem rumit yang operasinya, atau mungkin keselamatannya, tergantung pada keandalan dari berbagai komponen yang membangun sistem tersebut. Misalnya sebuah sekering akan terbakar atau alat pengendali panas akan gagal. Komponen yang identik yang dikenakan pada kondisi lingkungan yang identik akan gagal pada saat yang berbeda dan tak terduga. Distribusi weibull pertama kali diperkenalkan oleh fisikawan Swedia Waloddi Weibull (1939). Seperti distribusi eksponensial, weibull juga dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan keandalan dan pengujian umur (*life testing*) seperti waktu sampai rusak atau panjang umur suatu komponen, diukur dari suatu waktu tertentu sampai rusak. Misalkan waktu sampai rusak tersebut kita nyatakan dengan peubah acak kontinu T dengan fungsi padat peluang $f(t)$, bila $f(t)$ distribusi weibull (Walpole dkk, 2003). Distribusi weibull menghasilkan analisa kegagalan yang akurat dan prediksi resiko dengan sampel yang sangat kecil menggunakan sebuah plot grafik yang *simple* dan berguna.

Index Of Fit

Setelah dilakukan pengujian pola distribusi kerusakan komponen mesin yaitu distribusi normal, lognormal, eksponensial, dan weibull terhadap masing-masing komponen kritis mesin maka didapatkan Hasil perhitungan *index of fit* yang terpilih adalah hasil *index of fit* yang paling besar dari

beberapa pengujian distribusi. *index of fit* (r) menunjukkan hubungan linier antara dua peubah acak x_i dan y_i semakin besar nilai r menandakan hubungan linier antara x_i dan y_i semakin besar.

Mean Time Between Failure (MTBF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR)

Menurut Ansori dan Mustajib (2013), *Mean Time Between Failure* (MTBF) adalah suatu ukuran seberapa keandalan (*reliabel*) suatu produk atau komponen. Perhitungan MTBF dapat digunakan sebagai suatu acuan dasar ketika hendak melakukan perancangan suatu produksi baru. MTBF dapat dikembangkan sebagai hasil dari pengujian *intensive* berdasar pada pengalaman produk nyata (eksperimen sebelumnya), atau yang diramalkan dengan penelitian faktor yang sudah diketahui. Sedangkan *Mean Time To Repair* (MTTR) adalah rata-rata waktu komponen untuk dilakukan perbaikan atau perawatan (*repair*). MTTR didasarkan atas lamanya perbaikan dan penggantian komponen yang mengalami kerusakan (*failure*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mesin atau peralatan yang menjadi objek penelitian adalah mesin pompa distribusi pada PDAM Tirta Muare Ulakan Sambas. Jenis pompa distribusi pada PDAM Tirta Muare Ulakan Sambas tersebut merupakan pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal adalah pompa yang dimana pada saat terjadi kenaikan kecepatan pada *impeller*, aliran *fluida* pada sisi *discharge* (keluaran) arahnya sentrifugal (tegak lurus terhadap poros). Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data kerusakan mesin, data komponen yang mengalami kerusakan, dan data lamanya waktu perbaikan. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data histori perbaikan mesin yang terjadi selama tiga tahun atau pada periode Januari 2013 hingga April 2015.

Setelah semua data yang diperlukan terkumpul maka dilakukan pengolahan data. Untuk tahap-tahap yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Menghitung interval waktu antar kerusakan atau *Time To Failure* (TTF), menghitung waktu antar perbaikan atau *Time To Failure* (TTR) pada mesin pompa Distribusi I, II, dan III,

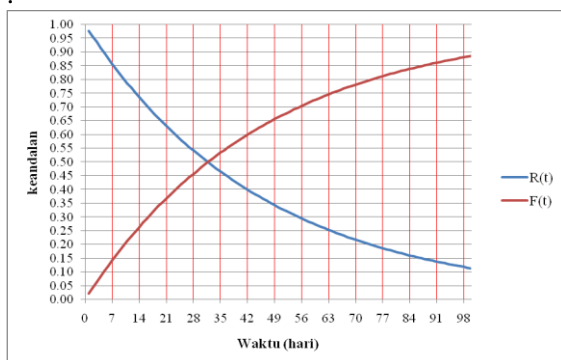
2. Menghitung tiap distribusi yaitu distribusi Eksponensial, distribusi Normal, distriusi Weibull, dan distribusi Lognormal,
3. Menentukan distribusi yang memiliki *index of fit* tertinggi,
4. Menghitung nilai keandalan dari masing-masing mesin pompa Distribusi I, II, dan III,
5. Menghitung *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) dari masing-masing mesin pompa Distribusi I, II, III, dan
6. Menghitung interval waktu perawatan pada masing-masing mesin pompa Distribusi I, II, dan III.

Adapun jenis distribusi yang tepat untuk *Time To Failure* (TTF) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitlasi Indek of Fit setiap pompa

Mesin	Distribusi	<i>Index of fit</i>
Distribusi I	Weibull	0,979
Distribusi II	Weibull	0,968
Distribusi III	Eksponensial	0,987

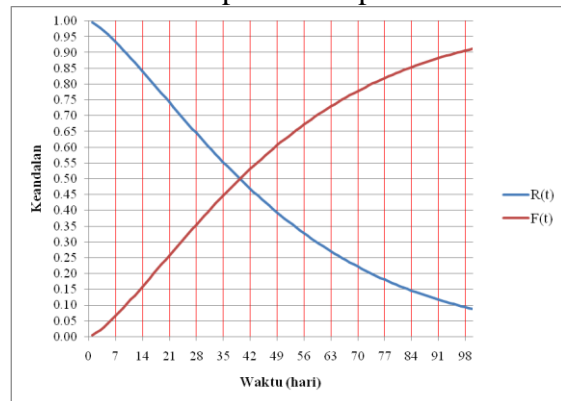
Adapun grafik keandalan mesin pompa Distribusi I dengan menggunakan data dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Grafik keandalan pompa distribusi 1

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa $R(t)$ atau keandalan dari sebuah mesin yang semakin berkurang dari hari ke hari dan $F(t)$ atau fungsi distribusi kumulatif adalah probabilitas atau peluang terjadinya kerusakan dimana dapat dikatakan masih dapat berfungsi dengan baik pada pengoperasian hari ke-16 dengan keandalan 0,705.

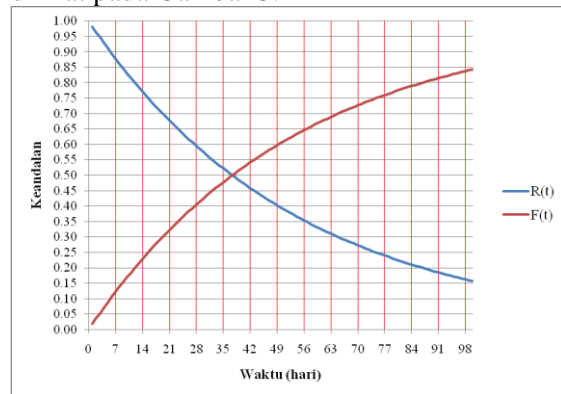
Adapun grafik keandalan mesin pompa Distribusi II dengan menggunakan data dari data dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik keandalan pompa distribusi 2

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa $R(t)$ atau keandalan dari sebuah mesin yang semakin berkurang dari hari ke hari dan $F(t)$ atau fungsi distribusi kumulatif adalah probabilitas atau peluang terjadinya kerusakan dimana dapat dikatakan masih dapat berfungsi dengan baik pada pengoperasian hari ke-24 dengan keandalan 0,700.

Adapun grafik keandalan mesin pompa Distribusi III dengan menggunakan data dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik keandalan pompa distribusi 3

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa $R(t)$ atau keandalan dari sebuah mesin yang semakin berkurang dari hari ke hari dan $F(t)$ atau fungsi distribusi kumulatif adalah probabilitas atau peluang terjadinya kerusakan dimana dapat dikatakan masih dapat berfungsi dengan baik pada pengoperasian hari ke-19 dengan keandalan 0,703.

Rekapitulasi perhitungan MTBF dan MTTR pada masing-masing mesin dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai MTBF dan MTTR tiap pompa

Mesin	Distribusi	MTBF (jam)	Distribusi	MTTR (jam)

Distribusi I	Weibull	1.102,282	Ekspensial	2,834
Distribusi II	Weibull	1.137,547	Ekspensial	12,001
Distribusi III	Ekspensial	1.294,688	Ekspensial	6,203

Setelah melakukan pengolahan data maka langkah selanjutnya melakukan pembahasan dan menganalisa hasil dari pengolahan data. Adapun pembahasan dan analisa dari hasil pengolahan data dapat dilihat sebagai berikut:

1. Identifikasi Distribusi

Identifikasi distribusi dilakukan dengan melakukan perhitungan nilai (r) dari data waktu antar kerusakan mesin dan waktu antar perbaikan mesin. Nilai (r) terbesar dari perhitungan masing-masing distribusi kemudian dipilih sebagai distribusi yang terpilih. Adapun identifikasi distribusi dari waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan adalah :

a. Mesin pompa Distribusi I

Pada mesin pompa Distribusi I untuk waktu antar kerusakan berdistribusi weibull dengan nilai (r) sebesar 0,979 sedangkan untuk waktu antar perbaikan berdistribusi ekspensial dengan nilai (r) sebesar 0,913

b. Mesin pompa Distribusi II

Pada mesin pompa Distribusi II untuk waktu antar kerusakan berdistribusi weibull dengan nilai (r) sebesar 0,968 sedangkan untuk waktu antar perbaikan berdistribusi ekspensial dengan nilai (r) sebesar 0,881

c. Mesin pompa Distribusi III

Pada mesin pompa Distribusi III untuk waktu antar kerusakan berdistribusi ekspensial dengan nilai (r) sebesar 0,987 sedangkan untuk waktu antar perbaikan berdistribusi ekspensial dengan nilai (r) sebesar 0,841

2. Fungsi Keandalan

Setelah diketahui distribusi yang akan digunakan diperlukan juga nilai parameter untuk perhitungan fungsi keandalan (R), fungsi distribusi kumulatif (F), fungsi padat peluang (f), dan laju kegagalan (λ).

a. Mesin pompa Distribusi I

Pada mesin pompa Distribusi I nilai (r) yang didapat berdistribusi weibull dengan nilai (r) sebesar 0,979. Parameter bentuk (β) sebesar 0,928 dengan parameter skala (θ) sebesar 1.102,282. Nilai fungsi keandalan (R), fungsi

distribusi kumulatif (F), fungsi padat peluang (f), dan laju kegagalan (λ).

b. Mesin pompa Distribusi II

Pada mesin pompa Distribusi II nilai (r) yang didapat berdistribusi weibull dengan nilai (r) sebesar 0,968. Parameter bentuk (β) sebesar 1,346 dengan parameter skala (θ) sebesar 1.240,739. Nilai fungsi keandalan (R), fungsi distribusi kumulatif (F), fungsi padat peluang (f), dan laju kegagalan (λ).

c. Mesin pompa Distribusi III

Pada mesin pompa Distribusi III nilai (r) yang didapat berdistribusi ekspensial dengan nilai (r) sebesar 0,987 dan mempunyai nilai parameter λ sebesar 0,000772. Nilai fungsi keandalan (R), fungsi distribusi kumulatif (F), fungsi padat peluang (f), dan laju kegagalan (λ).

3. Usulan Perawatan

Usulan perawatan mesin pompa didasarkan dari nilai MTBF dan MTTR yang didapat. Hal ini berguna untuk perawatan agar mesin tidak mengalami kerusakan secara tiba-tiba. Adapun penjelasan dari setiap mesin dapat dilihat sebagai berikut:

a. Mesin pompa Distribusi I

Mesin dengan nilai keandalan diatas 0,7 dapat dikatakan masih dapat berfungsi dengan baik. Pada mesin pompa Distribusi I, mesin masih dapat berfungsi dengan baik pada pengoperasian hari ke-16 dengan keandalan 0,703. Waktu antar kerusakan pada mesin pompa Distribusi I berdistribusi weibull sehingga didapatkan nilai MTBF sebesar 1.102,300 jam. Artinya mesin dapat bekerja dalam waktu selama 1.102,300 jam dan harus sudah dilakukan perawatan pencegahan pada maksimal pengoperasian 1.102,282 jam agar mesin tidak mengalami kerusakan secara tiba-tiba. Untuk MTTR nilai yang didapatkan berdistribusi ekspensial sebesar 2,834 jam. Artinya, perbaikan yang harus dilakukan maksimal selama 2,834 jam.

b. Mesin pompa Distribusi II

Mesin dengan nilai keandalan diatas 0,7 dapat dikatakan masih dapat berfungsi dengan baik. Pada mesin pompa Distribusi II, mesin masih dapat berfungsi dengan baik pada pengoperasian hari ke-24 dengan keandalan 0,701. Waktu antar kerusakan pada mesin pompa Distribusi II berdistribusi weibull

sehingga didapatkan nilai MTBF sebesar 1.137,640 jam. Artinya mesin dapat bekerja dalam waktu selama 1.137,640 jam dan harus sudah dilakukan perawatan pencegahan pada maksimal pengoperasian 1.137,640 jam agar mesin tidak mengalami kerusakan secara tiba-tiba. Untuk MTTR nilai yang didapatkan berdistribusi eksponensial sebesar 12,001 jam. Artinya, perbaikan yang harus dilakukan maksimal selama 12,001 jam.

c. Mesin pompa Distribusi III

Mesin dengan nilai keandalan diatas 0,7 dapat dikatakan masih dapat berfungsi dengan baik. Pada mesin pompa Distribusi III, mesin masih dapat berfungsi dengan baik pada pengoperasian hari ke-19 dengan keandalan 0,702. Waktu antar kerusakan pada mesin pompa Distribusi III berdistribusi weibull sehingga didapatkan nilai MTBF sebesar 1.294,430 jam. Artinya mesin dapat bekerja dalam waktu selama 1.294,430 jam dan harus sudah dilakukan perawatan pencegahan pada maksimal pengoperasian 1.294,430 jam atau 53,945 hari agar mesin tidak mengalami kerusakan secara tiba-tiba. Untuk MTTR nilai yang didapatkan berdistribusi eksponensial sebesar 6,203 jam. Artinya, perbaikan yang harus dilakukan maksimal selama 6,203 jam.

SIMPULAN DAN SARAN

Dari perhitungan yang dilakukan dapat disimpulkan:

1. Nilai keandalan pada mesin pompa Distribusi I adalah 0,703 pada pengoperasian hari ke-16. Nilai keandalan pada mesin pompa Distribusi II adalah 0,701 pada pengoperasian hari ke-24. Nilai keandalan pada mesin pompa Distribusi III adalah 0,702 pada pengoperasian hari ke-19.

2. Mesin pompa Distribusi I dilakukan perawatan pencegahan pada maksimal pengoperasian 1.102,300 jam. Mesin pompa Distribusi II harus sudah dilakukan perawatan pencegahan pada maksimal pengoperasian 1.137,640 jam. Sedangkan mesin pompa Distribusi III harus sudah dilakukan perawatan pencegahan pada maksimal pengoperasian 1.294, 430 jam.

Beberapa saran dapat penulis sampaikan sebagai berikut:

1. Diharapkan Perusahaan PDAM TirtaMuare Ulakan dapat melaksanakan perawatan mesin sesuai dengan jadwal yang di tentukan.
2. Perawatan yang dilakukan diharapkan mencakup perawatan yang bersifat preventif maintenance untuk mencegah kerusakan mesin yang lebih parah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, N., & Mustajib, M.I., 2013, *Sistem Perawatan Terpadu*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Hansen, R. C., 2001, *Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production / Maintenance Tool For Increased Profits*, Industrial Press Inc, United Stated of America.
- Kurniawan, F., 2013, *Manajemen Perawatan Industri*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., dan Myers, S. L., 1995, *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan*, ITB, Bandung.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., dan Myers, S. L., 2003, *Probabilitas & Statistika untuk Teknik dan Sains*, Prenhallindo, Jakarta.