

SKRIPSI

**MODEL AGE REPLACEMENT UNTUK PREVENTIVE
MAINTENANCE POMPA FINISH WATER PUMP DI
PDAM**



AYUB ANSWARY

NPM: 22.0505.0011

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
TAHUN 2023**

SKRIPSI

**MODEL AGE REPLACEMENT UNTUK PREVENTIVE
MAINTENANCE POMPA FINISH WATER PUMP DI
PDAM**

**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Program Studi Teknik Mesin Jenjang Strata Satu (S-1) Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Magelang**



AYUB ANSWARY

NPM: 22.0505.0011

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
TAHUN 2023**

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Permasalahan

Perusahaan Daerah Air Minum (disingkat PDAM) merupakan salah satu unit usaha milik daerah, yang bergerak dalam distribusi air bersih bagi masyarakat umum. PDAM terdapat di setiap provinsi, kabupaten, dan kotamadya di seluruh Indonesia. Pada penelitian ini yang menjadi objeknya adalah Pompa Finish Water Pump (FWP) adalah suatu alat atau mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus (Widodo et al., 2022).

PDAM menggunakan pompa FWP dengan jenis Sentrifugal untuk mendistribusikan air bersih dari sumber mata air ke resevoir, yang selanjutnya distribusikan kepada masyarakat. Untuk menggerakkan pompa diperlukan kerja yang dihasilkan dari motor listrik dengan cara memindahkan energi melalui kopling untuk memutar poros pompa. (Evan, 2020). Kerja yang dilakukan motor listrik ini selanjutnya di teruskan oleh pompa untuk memindahkan cairan. Semakin sering mesin pompa tersebut digunakan, maka akan menurunkan kinerja pompa, sehingga membutuhkan sebuah kegiatan perawatan pompa baik preventif maupun korektif. Kegiatan perawatan ini sangat dibutuhkan untuk menjamin kelancaran kinerja PDAM, karena jika salah satu elemen mesin mengalami *breakdown* atau kerusakan dapat menyebabkan terhentinya proses distribusi air bersih ke masyarakat, dan menyebabkan kerugian berupa biaya serta waktu dalam memenuhi kelancaran produksi.

Produktifitas suatu perusahaan sangat ditentukan khususnya oleh kelancaran produksi. Kelancaran proses produksi mempunyai tiga unsur utama yaitu input, proses, output serta adanya suatu mekanisme umpan balik untuk mengendalikan sistem produksi itu agar mampu meningkatkan

perbaikan terus-menerus *continuous improvement* (Gaspersz, 1998). Unsur tersebut terdapat berbagai macam peralatan atau mesin yang perlu dipelihara demi kelancaran proses produksi. Kelancaran produksi jika sering mengalami gangguan akibat kerusakan mesin maka sangat besar dampaknya pada kualitas dan hasil output yang tidak maksimal sehingga menimbulkan banyak kerugian dan memperkecil tingkat produktifitas (F. R. Fansuri et al., 2017).

Preventive maintenance perlu dilakukannya penjadwalan yang optimal untuk penggantian komponen kritis yang sering mengalami kerusakan tersebut sehingga biaya produksi dapat diminimalkan (Prawiro, 2017a). Jadwal *preventive maintenance* dibutuhkan untuk mencegah kerusakan dengan mengetahui interval waktu perawatan yang optimal bagi peralatan untuk menghilangkan *downtime*. Model *Age Replacement* merupakan metode dari *preventive maintenance* yang dapat memprediksikan secara akurat kegiatan penggantian komponen suatu peralatan berdasarkan data historis kerusakan peralatan tersebut serta dapat mengeliminasi *breakdown* dibandingkan metode *preventive maintenance* lainnya (Prawiro, 2017a). Model *age replacement* ini lebih banyak dipakai pada industri karena adanya parameter *life time* komponen yang tidak dimiliki metode *preventive maintenance* lainnya (Purnama et al., 2015). Perawatan mesin biasanya dilakukan sesuai dengan *manual book* dari mesin tersebut namun demikian tindakan *preventive* yang ditunjukkan oleh *manual book* tersebut tidaklah akurat karena factor kondisi di lapangan yang kadang berbeda pada saat melakukan perawatan dan perbaikan mesin sehingga diperlukan penjadwalan yang akurat dengan metode *Age Replacement* untuk mengetahui selang waktu penggantian komponen yang akurat sesuai dengan kondisi yang ada. Kompleksnya permasalahan mengenai *breakdown* dan besarnya skala proses produksi yang harus di capai oleh PDAM dalam memenuhi permintaan pasar, maka dibutuhkan penanganan mengenai *preventive maintenance* agar target produksi dapat dicapai (Prawiro, 2017). Penelitian ini membahas tentang analisis

Preventive Maintenance dengan model *Age replacement* yang bertujuan untuk mengetahui tingkat efisiensi pada perawatan komponen pompa finish water pump yang ada di PDAM dan mengetahui total biaya perawatan yang paling rendah selama proses perawatan komponen tersebut.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang tertera diatas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut :

1. Apa saja yang menjadi komponen kritis pada pompa sentrifugal di PDAM?
2. Bagaimana model/pola perawatan terkait interval waktu penggantian dengan model *Age Replacement* untuk penggantian komponen kritis pada pompa sentrifugal di pompa FWP?
3. Bagaimana benefit terkait penurunan biaya perawatan model *age replacement* pada pompa pompa *finish water pump*?

C. Tujuan

1. Untuk mengetahui penjadwalan yang optimal untuk penggantian komponen kritis pada pompa *finish water pump*.
2. Untuk mengetahui interval waktu penggantian dengan model *Age Replacement* pada penggantian komponen kritis.
3. Untuk mengetahui penekanan biaya yang terjadi selama proses pencegahan kerusakan pompa sentrifugal sehingga biaya produksi dapat diminimalkan.

D. Manfaat

Adapun manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi bidang keilmuan teknik mesin sehingga menjadi acuan pustaka mahasiswa yang akan melaksanakan penelitian dengan tema *Preventive maintenance* pada pompa *finish water pump*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Relevan

Pada penelitian yang dilakukan Zamani *et al.*, (2023) didapatkan hasil bahwa data historis kerusakan dan *downtime* pada mesin pengayakan batu bara yang digunakan dalam penelitian ini selama periode April 2021 hingga Juli 2022 menunjukkan tingginya frekuensi terjadinya kerusakan pada beberapa komponen mesin yang disebabkan oleh jadwal perawatan yang tidak terencana. Hasil penelitian ini dapat ditarik 4 poin kesimpulan yakni yang pertama adalah pada penelitian difokuskan pada analisis 2 jenis komponen yang kritis yakni komponen *gearbox* dan *V-Belt Conveyor* karena memiliki jumlah *downtime* terbesar. Poin kedua yakni hasil uji distribusi pada komponen kritis di mesin pengayakan batu bara terlihat bahwa nilai Anderson terkecil untuk 2 jenis distribusi sesuai dengan distribusi Weibull.(Zamani *et al.*, 2023)

Fansuri *et al.*, (2016) membuat sebuah penentuan interval waktu perawatan *preventive maintenance* dan biaya perawatan mesin bandsaw di CV Sisi jati bening dengan metode *age replacement*. Model matematis perawatan pencegahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Age Replacement* yaitu metode perawatan pencegahan yang dilakukan dengan menetapkan interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan selang waktu kerusakan yang menuntut adanya tindakan perbaikan dengan kriteria minimasi. Pada penelitian ini di dapatkan hasil bahwa biaya perawatan metode perusahaan yaitu sebesar Rp. 171.360.000 dengan melakukan perawatan 3 kali dalam setahun, biaya metode usulan yaitu sebesar Rp. 159.017.608, dengan melakukan perawatan dalam setiap 10 hari atau 36 kali dalam setahun. Dari metode *Age Replacement* tersebut didapatkan prosentase penghematan sebesar 7%.(R. F. Fansuri *et al.*, 2016)

Muhsin & Syarafi, (2018) melakukan Analisis kehandalan dan laju

kerusakan pada mesin continues frying di PT XYZ. penelitian ini adalah untuk menentukan nilai keandalan (reliability) dan laju kerusakan dari mesin CF untuk menentukan waktu perawatan mesin. Penelitian ini menggunakan analisis menentukan nilai reliability, laju kerusakan, MTTF, dan MTTR. Hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan. Berdasarkan hasil penelitian bahwa komponen *Heat Exchanger* mesin CF 1, CF 3, dan CF 8 berturut-turut akan mengalami kerusakan tiap 23 hari, 11 hari, dan 29 hari berdasarkan nilai MTTF, dan perlu perbaikan berturut-turut selama 5 hari, 4 hari, dan 5 hari berdasarkan nilai MTTR (Muhsin & Syarafi, 2018).

Pada tahun 2015 Praharsi *et al.*, (2015) membuat perancangan penjadwalan preventive maintenance pada PT Artha Prima Sukses Makmur. Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap masalah yang terkait dengan perawatan mesin, dan dapat digunakan beberapa jenis metode distribusi kerusakan dan perbaikan untuk mendekati pola kerusakan dan perbaikan mesin yang terjadi. Jenis distribusi yang digunakan agar dapat mengetahui pola data yang terbentuk, antara lain: distribusi Weibull, distribusi eksponensial, distribusi normal dan distribusi lognormal. Hasil perhitungan preventive maintenance dapat menurunkan lama downtime dari 7.29 jam/bulan menjadi 7.08 jam/bulan, atau sebesar 0,21 jam/bulan (2,85%). Sedangkan penurunan biaya perawatan mesin dengan preventive maintenance dalah dari Rp 14.469.590,00 menjadi Rp 8.908.230,00, atau terjadi penghematan sebesar 38%. Tingkat kehandalan mesin juga mengalami peningkatan yang cukup signifikan, jika kegiatan preventive maintenance dilaksanakan. Namun dalam penelitian ini memiliki kekurangan tidak adanya penelitian mengenai penggantian pencegahan komponen dan pemeriksaan secara berkala, sesuai dengan perhitungan interval waktu yang telah dihitung. (Praharsi et al., 2015)

Prawiro, (2017) melakukan penentuan interval waktu penggantian komponen kritis pada mesin *volpack* menggunakan metode *age replacement*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh interval waktu penggantian komponen mesin *volpack* dan mengetahui penurunan *downtime*

serta penghematan dari biaya yang dikeluarkan. Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan yaitu interval penggantian untuk komponen *seal heater* adalah 30 hari. Interval penggantian untuk komponen *knife foil* adalah 26 hari. Interval penggantian untuk komponen *solenoid valve* adalah 30 hari. Interval penggantian untuk komponen Oring seal adalah 18 hari. Sedangkan interval penggantian untuk komponen *needle bearing* adalah 62 hari. Perbandingan *downtime* sebelum dan sesudah adanya *preventive replacement* mengalami penurunan untuk komponen *seal heater* sebesar 22%. Komponen *knife foil* mengalami penurunan *downtime* sebesar 27%. Komponen *solenoid valve* mengalami penurunan *downtime* sebesar 29%. Komponen *Oring seal* mengalami penurunan *downtime* sebesar 33%. Sedangkan komponen *needle bearing* mengalami penurunan *downtime* sebesar 25%. Biaya yang dikeluarkan jika perusahaan menerapkan kebijakan *preventive replacement* komponen kritis dengan metode *age replacement* mengalami penghematan untuk komponen *seal heater* sebesar Rp. 974.000 atau 23%. Komponen *knife foil* mengalami penghematan sebesar Rp. 1.251.409 atau 22%. Komponen *solenoid valve* mengalami penghematan sebesar Rp. 546.539 atau 24%. Komponen *Oring seal* mengalami penghematan sebesar Rp. 350.096 atau 26%. Sedangkan komponen *needle bearing* mengalami penghematan sebesar Rp. 196.712 atau 26%. Dengan adanya analisa-analisa perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan kriteria minimasi biaya, diharapkan perusahaan benar-benar memperhatikan semua aspek yang berhubungan dengan kegiatan penggantian pencegahan. Berdasarkan hasil makalah, perusahaan sebaiknya menggunakan kebijakan penggantian komponen kritis secara terencana dengan metode *age replacement* karena dapat mengurangi *downtime* dan menghemat biaya yang dikeluarkan. (Prawiro, 2017b)

(Purnama *et al.*, 2015) Membuat penelitian dengan metode *age replacement* digunakan untuk menentukan interval waktu perawatan mesin pada armada bus. Model matematis sistem perawatan secara pencegahan yang

digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Age Replacement*, yaitu metode perawatan pencegahan yang dilakukan dengan menetapkan interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan selang waktu kerusakan yang menuntut adanya tindakan perbaikan penggantian dengan kriteria minimasi. Dalam model *Age Replacement* saat untuk dilakukan pergantian pencegahan adalah tergantung pada umur pakai dari komponen. Penggantian pencegahan dilakukan dengan menetapkan kembali interval penggantian berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan. Hasil dari pengolahan dan analisa data Penjadwalan perawatan kendaraan yang harus dilakukan pada PO. Harapan Jaya agar tercapai minimalisasi biaya yaitu setiap 9 hari dengan tingkat keandalan mesin sebesar 0.6179 (61,79%), biaya yang optimal setiap kali melakukan kegiatan perawatan pencegahan adalah sebesar Rp 1.058.482,84 pada interval hari yang ke-9, Waktu yang optimal untuk melakukan perawatan dalam kurun waktu satu tahun yaitu sebanyak 40 kali perawatan atau dalam setiap interval 9 hari, prosentase penghematan biaya pemeliharaan setahun sebesar 37%, hemat Rp 310.571.686,40. (Purnama *et al.*, 2015)

Ramadhan & Sukmono, (2018) melakukan penelitian tentang penentuan interval waktu *preventive maintenance* pada *nail making machine* dengan menggunakan *metode reliability centered maintenance* (RCM) II. Tujuan dilakukan penelitian yaitu dapat menentukan jadwal interval waktu perawatan dan mengetahui tindakan atau kegiatan perawatan yang harus dilakukan. Untuk mengatasi masalah tersebut dalam penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II dengan perhitungan *Failure Modes and Effect Analyze* (FMEA). RCM II didefinisikan sebuah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk perawatan mesin, sedangkan untuk FMEA diartikan sebagai metode untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan tertinggi pada setiap kerusakan mesin yang terjadi. Dari hasil perhitungan menggunakan FMEA dan RCM II diperoleh hasil interval perawatan pada komponen *Side shaft (stang metal)* dengan interval perawatan selama 63 jam, untuk

komponen Crank shaft (metal jalan) dengan interval perawatan selama 81 jam, dan untuk komponen Elektrik motor dengan interval perawatan selama 374 jam.(Ramadhan & Sukmono, 2018)

Tamara, (2014) melakukan penelitian tentang analisis Prediksi waktu kegagalan transformator menggunakan distribusi weibull dan distribusi eksponensial. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk membuat perancangan program aplikasi berbasis Microsoft Excel menggunakan distribusi weibull dan distribusi eksponensial untuk memprediksikan waktu kegagalan transformator prediksi kegagalan pada transformator. Hasil dari program ini adalah kapan transformator akan mengalami waktu kegagalan. Apabila kedua distribusi ini dapat digunakan, program ini dapat menentukan distribusi yang paling akurat untuk digunakan. Sehingga waktu kegagalan yang didapat akan lebih akurat.(Tamara, 2014)

Taufik & Septyani, (2016) Melakukan Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Turbin Di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan mesin dan komponen yang kritis, mengevaluasi tindakan perawatan yang dilakukan terhadap komponen kritis, menentukan interval waktu perawatan komponen kritis mesin turbin yang optimal dengan tujuan minimasi *downtime*.. Dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan, ditemukan bahwa mesin kritis adalah mesin turbin dengan nilai total 44 dan komponen-komponen kritis dari mesin turbin adalah membrane turbine, bearing dan turning gear dengan interval waktu pemeriksaan untuk setiap komponen kritis adalah 960.48 jam (40 hari), 908.57 jam (37 hari) dan 1150.28 jam (48 hari). Sementara 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 lebih 95%.(Taufik & Septyani, 2016)

Ekawati & Mustofa, (2016). Melakukan penelitian tentang Perawatan Preventive Pada Mesin Dyeing Menggunakan Metode *Age Replacement* di PT. Nobel Industries. Penelitian ini bertujuan untuk mencari hasil perhitungan interval penggantian pencegahan untuk komponen *air preassure switch*, komponen *diapram*, komponen *main shaft*. Hasil perhitungan interval penggantian pencegahan untuk komponen *air preassure switch* yaitu pada titik 89 hari dengan ekspektasi biaya penggantian Rp 37.780/hari, pada komponen *diapram* yaitu pada titik 127 hari dengan ekspektasi biaya penggantian sebesar Rp 23.539/hari sedangkan pada komponen *main shaft* pada titik 92 hari dengan ekspektasi biaya penggantian sebesar Rp 27.861/hari. (Ekawati & Mustofa, 2016). Pada penelitian ini memiliki kekurangan dimana tidak adanya perhitungan *preventive replacement cost* dan juga pada penelitian ini tidak dibahas bagaimana tingkat efisiensi sebelum dan sesudah melakukan *preventive maintenance* dengan metode *age replacement*.

Utama & Wibowo, (2018). Melakukan penelitian tentang Analisis *Preventive Maintenance* Terhadap *Submersible Pump* 100 Dlc5 7,5 T Dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pemeliharaan *Submersible Pump* 100 DLC5 7,5T (pompa benam) di Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Surabaya. Jenis pemeliharaan yang digunakan adalah jenis perawatan pencegahan (*preventive maintenance*),kemudian dilakukan improvisasi untuk memperpanjang *lifetime* pompa.Ada tiga tahap yang harus dilakukan dalam pengolahan air limbah yaitu : *pre treatment* yang mampu menampung 7000-8000 m³/hari air limbah, *primary treatment* sebagai filtrasi kandungan air limbah, *secondary treatment* untuk penambahan oksigen dan bakteri pengurai. Adapun pola perawatan yang ada dengan inspeksi harian, mingguan, bulanan, dan tahunan. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah improvisasi terhadap *submersible pump* dengan penambahan jaring besi sebagai filter pada dinding intake pompa untuk mendukung kondisi pompa

tetap prima. (Utama & Wibowo, 2018). Pada penelitian ini memiliki kekurangan yaitu tidak menerapkan metode penggantian pencegahan.

Penelitian yang dilakukan Nisak *et al.*, (2022) ini membahas tentang Analisis Tingkat Keandalan Dan Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Mesin Pompa Air di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang. Penelitian ini bertujuan untuk menjaga mesin pompa air tetap berfungsi dengan baik perlu diadakan perawatan dan pemeliharaan (*maintenance*) serta uji fungsi keandalan pada mesin pompa air agar sistem berjalan lebih teratur, rapi, bersih, dan fungsional. Penelitian ini menggunakan metode *age replacement* untuk menentukan optimalisasi penjadwalan yang tepat dan secara berkala. Metode ini membantu perusahaan dalam membuat jadwal perawatan secara *preventive maintenance* agar dapat mengurangi terjadinya breakdown pada mesin pompa air. Metode ini juga dapat menentukan nilai fungsi keandalan dari masing-masing mesin pompa air yang diteliti. Didukung dengan distribusi weibull yang mana distribusi ini membantu peneliti dalam menentukan probabilitas terjadinya kerusakan. Sehingga perusahaan mendapatkan usulan penjadwalan yang mana pada mesin pompa air I diharuskan melakukan *preventive maintenance* setiap 50 hari sekali. Penjadwalan ini dapat menambah persentase fungsi keandalan dari mesin sebesar 96,7% yang artinya dapat beroperasi dengan sangat baik dan penghematan biaya sebesar 63,5% dari sebelum dilakukan penjadwalan dengan metode *age replacement*. Pada penelitian ini masih terdapat kekurangan, dimana penelitian ini tidak merinci komponen-komponen kritis yang sering mengalami kerusakan. Padahal dalam merinci komponen-komponen kritis yang sering mengalami kerusakan sangatlah penting karena dengan merinci komponen tersebut kita dapat mengetahui komponen mana yang sering mengalami kerusakan sehingga kita bisa cepat mengetahui apa saja masalah-masalah kerusakan yang bisa dicegah ataupun segera diperbaiki.

Dalam penelitian yang dilakukan Suryani *et al.*, (2023) membahas tentang Analisis *Preventive Maintenance* Komponen Mesin *Pulp* Dengan Metode

Age Replacement. Pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu penjadwalan perawatan komponen yang semula perawatan dilakukan hanya disaat terjadinya kerusakan pada komponen Line Dilution Pulp, sehingga mengganggu proses produksi dan mengakibatkan biaya pengeluaran yang besar. Dalam menentukan interval waktu perawatan metode yang digunakan untuk menentukan kebijakan penjadwalan perawatan yang optimal yaitu menggunakan metode *Age Replacement*/umur pergantian, setelah dilakukan perawatan dengan metode *Age Replacement* didapat waktu perawatan yang tepat yaitu setiap 22 hari sekali dengan biaya Rp. 10.269.234,- dan biaya sebelum menentukan waktu perawatan yaitu sebesar Rp. 13.900.000,- dengan demikian penghematan yang didapat sebesar Rp. 3.630.766,-. Maka dengan itu perusahaan menghemat biaya perawatan sebesar 26%. (Suryani et al., 2023). Pada penelitian ini masih memiliki kekurangan di penerapan penentuan distribusi kerusakan, dimana pada penentuan distribusi kerusakan itu sendiri memiliki empat jenis yaitu distribusi normal, log normal, eksponensial, dan weibul. Tetapi pada penelitian ini hanya menggunakan satu jenis penentuan distribusi kerusakan yaitu weibul.

Melihat dari beberapa kekurangan yang terdapat dari penelitian sebelumnya, penelitian ini akan melakukan perhitungan *preventive replacement cost* dan juga pada penelitian ini akan dijelaskan bagaimana tingkat efisiensi sebelum dan sesudah melakukan *preventive maintenance* dengan metode *age replacement*. Selain itu penelitian ini juga akan menerapkan metode penggantian pencegahan serta akan dilakukannya perincian komponen-komponen kritis yang sering mengalami kerusakan. Di penelitian ini juga akan lakukan akan menerapkan empat jenis penentuan distribusi kerusakan yaitu distribusi normal, log normal, eksponensial, dan weibul.

B. Dasar Teori

1. Manajemen perawatan

Manajemen pemeliharaan merupakan upaya jitu dalam menjaga kontinuitas

kegiatan produksi, sehingga target yang ingin dicapai dapat terealisasi secara sempurna. Produktivitas akan tercapai, jika seluruh sistem, khususnya yang berkenaan dengan fasilitas industri dapat beroperasi dengan baik. Hal ini perlu didukung serta strategi manajemen, baik yang bersifat kualitatif, maupun kuantitatif. Sejauh ini konsep manajemen perawatan hanya berada pada ranah penyusunan prosedur, dan implementasi dokumen perawatan. Padahal strategi perawatan akan lebih baik jika didukung oleh analisis kuantitatif, sehingga dapat menyempurnakan strategi tersebut (Kurniawan, 2013)

2. Pengertian perawatan (*Maintenance*)

Perawatan merupakan suatu fungsi yang sama pentingnya dengan produksi pada suatu perusahaan atau pabrik. Hal ini karena peralatan atau fasilitas yang kita gunakan memerlukan pemeliharaan atau perawatan agar peralatan atau fasilitas dapat digunakan terus agar kegiatan produksi dapat berjalan lancar.

Berikut adalah pengertian pemeliharaan dari beberapa sumber :

- a) Menurut Dhillon, (2002) perawatan merupakan semua tindakan yang dilakukan untuk mempertahankan atau mengembalikan item atau peralatan keadaannya tertentu.
- b) Menurut Sofjan, (2009) perawatan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memelihara dan menjaga peralatan atau fasilitas dan mengadakan perbaikan atau penggantian sehingga dapat memperoleh suatu kegiatan proses produksi yang memuaskan dan sesuai dengan yang direncanakan.
- c) Menurut Ngadiyono, (2010) kegiatan perawatan meliputi maintenance, repair dan overhaul. Jadi perawatan dapat didefinisikan sebagai semua tindakan yang bertujuan untuk mempertahankan atau memulihkan komponen atau mesin kondisi ideal sehingga dapat menjalankan fungsinya sesuai dengan kebutuhan perusahaan.
- d) Menurut Ginting, (2009) pemeliharaan adalah suatu kegiatan yang

dilakukan untuk menjamin kelangsungan fungsional mesin.

2. Tujuan perawatan (*Maintenance*)

Tujuan utama pemeliharaan dapat didetifikasikan sebagai berikut (Sofjan, 2009):

- a) Mesin dan seluruh perlengkapan produksinya siap pakai.
- b) Mengurangi atau memperlambat tingkat keausan dan kerusakan pada mesin.
- c) Untuk mendapatkan biaya perawatan serendah mungkin dengan melakukan kegiatan perawatan secara teratur dan terencana.
- d) Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk tersebut dan supaya kegiatan produksi tidak terganggu.
- e) Meningkatkan kemampuan berproduksi agar dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.

3. Keuntungan melakukan pemeliharaan (*maintenance*)

Ada 8 prinsip keuntungan *preventive maintenance* (Corder, *et.al*, 1992):

- a) Pengurangan pemeliharaan darurat.
- b) Pengurangan waktu mengangur.
- c) Menaikkan ketersediaan(*Avaibility*) untuk produksi.
- d) Meningkatkan penggunaan tenaga kerja untuk pemeliharaan dan produksi.
- e) Memperpanjang waktu antar overhaul.
- f) Pengurangan penggantian suku cadang membantu pengendalian persediaan.
- g) Meningkatkan efisiensi mesin.
- h) Memberikan pengendalian anggaran dan biaya.

4. Kegiatan pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan dalam suatu perusahaan menurut (Tampubolon, 2004):

- a) *Inspection* (inspeksi) Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala dimana maksud kegiatan ini adalah untuk mengetahui apakah perusahaan selalu mempunyai peralatan atau fasilitas produksi yang baik untuk menjamin kelancaran proses produksi. Sehingga jika terjadinya kerusakan, maka segera diadakan perbaikan-perbaikan yang diperlukan sesuai dengan laporan hasil inspeksi, dan berusaha untuk mencegah sebab-sebab timbulnya kerusakan dengan melihat sebab-sebab kerusakan yang diperoleh dari hasil inspeksi.
- b) *Repair* (perbaikan) adalah aktivitas yang dilakukan untuk mengembalikan kondisi mesin yang mengalami gangguan, sehingga dapat beroperasi seperti sebelum terjadi gangguan tersebut, dimana prosesnya hanya dilakukan untuk perbaikan yang sifatnya kecil (perbaikan setempat). Biasanya repair tidak terlalu banyak mengganggu kontinuitas proses produksi.
- c) *Overhaul* (perbaikan menyeluruh) adalah aktivitas perbaikan menyeluruh. Aktivitas ini memiliki makna yang sama dengan repair, hanya saja ruang lingkupnya lebih besar. Perawatan ini dilakukan apabila kondisi mesin berada dalam keadaan rusak parah, sementara kemampuan untuk membutuhkan biaya yang besar.
- d) *Replacement* (penggantian) adalah aktivitas penggantian mesin. Biasanya mesin yang memiliki kondisi yang lebih baik akan menggantikan mesin sebelumnya. *Replacement* dilakukan jika kondisi alat sudah tidak memungkinkan lagi untuk beroperasi, atau sudah melewati umur ekonomis penggunaan. *Replacement* membutuhkan investasi yang besar bagi perusahaan, sehingga alternatif ini, biasanya menjadi pilihan terakhir, setelah repair atau *overhaul*.

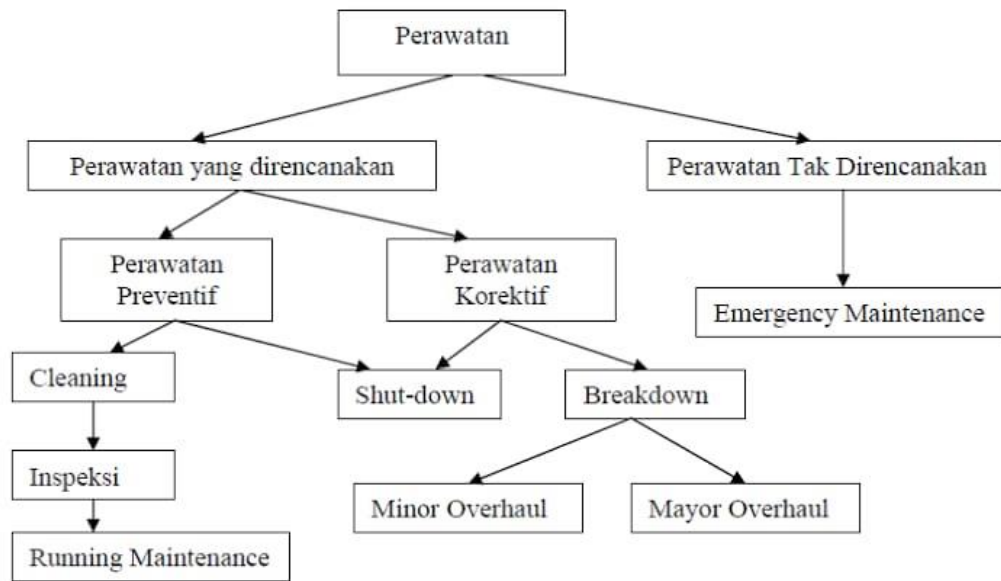
5. Jenis-jenis pemeliharaan

Menurut (Corder, *et.al*, 1992) Pemeliharaan terencana dibagi menjadi dua aktivitas utama yaitu:

- a) Pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) adalah inspeksi periodic untuk mendeteksi kondisi yang mungkin menyebabkan produksi berhenti atau berkurangnya fungsi mesin dikombinasikan dengan pemeliharaan untuk menghilangkan, mengendalikan, kondisi tersebut dan mengembalikan mesin ke kondisi semula atau dengan kata lain deteksi dan penanganan diri kondisi abnormal mesin sebelum kondisi tersebut menyebabkan cacat atau kerugian. Menurut Heizer & Render (2011) dalam bukunya “*Operations Management*” *preventive maintenance* adalah : “*A plan that involves routine inspections, servicing, and keeping facilities in good repair to prevent failure*”. Artinya *preventive maintenance* adalah sebuah perencanaan yang memerlukan inspeksi rutin, pemeliharaan dan menjaga agar fasilitas dalam keadaan baik sehingga tidak terjadi kerusakan di masa yang akan datang.
- b) Pemeliharaan korektif (*Corrective Maintenance*) adalah pemeliharaan yang dilakukan secara berulang atau pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian (termasuk penyetelan dan reparasi) yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima Corder (1992). Pemeliharaan ini meliputi reparasi minor, terutama untuk rencana jangka pendek, yang mungkin timbul diantara pemeriksaan, juga overhaul terencana. Menurut Heizer & Render (2011) pemeliharaan korektif (*Corrective Maintenance*) adalah : “*Remedial maintenance that occurs when equipment fails and must be repaired on an emergency or priority basis*”.

6. Hubungan berbagai pemeliharaan

Hubungan sebuah pembedaan dibuat antara pemeliharaan dan pekerjaan lain yang dikerjakan juga oleh pekerjaan pemeliharaan, hal ini digambarkan dalam bagan Gambar 2.1



Gambar 2.1 Hubungan berbagai bentuk pemeliharaan Corder, *et.al* , (1988).

7. Keandalan Keandalan (*reliability*) didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang diinginkan sepanjang suatu periode waktu tertentu bilamana digunakan pada kondisi-kondisi pengoperasian yang telah ditentukan. Atau dalam perkataan yang lebih singkat, keandalan merupakan probabilitas dari ketidak-gagalan terhadap waktu. Menentukan keandalan dalam pengertian operasional mengharuskan definisi diatas dibuat lebih spesifik (Sachbudi, 2005):

- a) Harus ditetapkan definisi yang jelas dan dapat diobservasi dari suatu kegagalan. Berbagai kegagalan ini harus didefinisikan relatif terhadap fungsi yang dilakukan oleh komponen atau sistem.
- b) Unit waktu yang menjadi referensi dalam penentuan keandalan harus diidentifikasi dengan tegas.
- c) Komponen atau sistem yang diteliti harus diobservasikan pada performansi normal. Ini mencakup beberapa faktor seperti beban yang didesain, lingkungan, dan berbagai kondisi pengoperasian.

8. Metode Penentuan Komponen Kritis

Langkah untuk mengetahui komponen kritis dalam penelitian ini

menggunakan metode pengklasifikasian barang yang sering digunakan adalah analisis ABC atau analisis Pareto yang dikembangkan oleh Vilfredo Pareto (1848-1923). Pendekatan yang dilakukan dengan metode ini yaitu dengan cara melakukan klasifikasi terhadap komponen yang memiliki prioritas untuk dikendalikan secara ketat. Yaitu dengan cara mengelompokkan barang yang memiliki kuantitas sedikit tapi memiliki nilai yang tinggi, sehingga barang yang berkarakter tersebut dinyatakan sebagai kritis dan dikategorikan sebagai A prioritas selanjutnya adalah B dan terakhir C.

Adapun pengklasifikasian dari ketiga kelompok kelas yang dikutip dalam buku David D. Bedworth, (1987) *Integrated Productions Control System*, 1987, hal 179-180): 1. Barang kelas A, yang merupakan barang yang terpenting. Barang ini berjumlah 5% - 10% dari seluruh suku cadang dan menyerap modal atau mempunyai nilai 60% - 80% dari seluruh nilai modal yang tertanam. 2. Barang kelas B, yaitu barang dengan derajat kepentingan dibawah kelas A, yang berjumlah 20% - 30% dan menyerap modal atau mempunyai nilai 15% dari seluruh nilai atau modal tertanam. 3. Barang kelas C, yaitu barang yang tidak begitu penting dibandingkan dua jenis barang di atas.

Metode analisis ABC ini dapat dibuatkan dalam suatu diagram dan menghitung jumlah modal yang diserap setiap jenis barang dan kemudian mengurutkan dari yang besar ke yang kecil. Kemudian dilakukan perhitungan kumulatif urutan jumlah modal yang diserap. Pengklasifikasian barang bisa dilakukan dengan metode yang lain tergantung dari tujuannya. Apabila diinginkan pengendalian komponen berdasarkan pemakaiannya maka komponen dapat diklasifikasikan berdasarkan frekuensi penggantian yang dilakukan. Komponen yang sering mengalami penggantian akan menjadi prioritas utama.

9. Metode Age Replacement

Model matematis system perawatan secara pencegahan yang digunakan

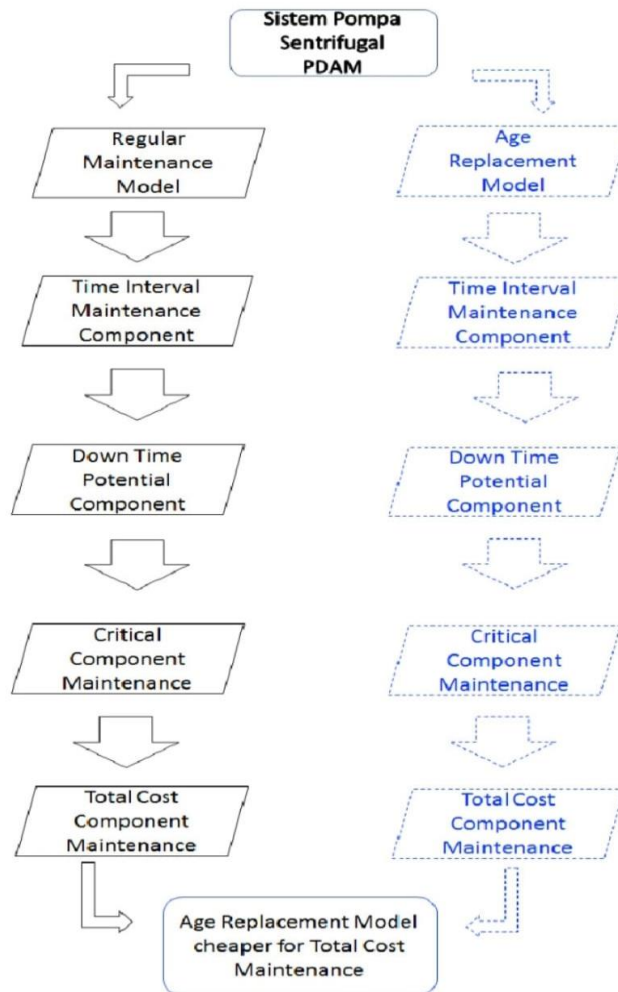
dalam penelitian ini adalah Metode *Age Replacement*, yaitu metode perawatan pencegahan yang dilakukan dengan menetapkan interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan selang waktu kerusakan yang menuntut adanya tindakan perbaikan penggantian dengan kriteria minimasi (Jardine & Tsang, 2013) dalam model *Age Replacement* saat untuk dilakukan pergantian pencegahan adalah tergantung pada umur pakai dari komponen. Penggantian pencegahan dilakukan dengan menetapkan kembali interval penggantian berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan. Jika terjadi kerusakan yang menuntut untuk dilakukannya tindakan penggantian. Dalam melakukan penurunan model penggantian ini terdapat beberapa asumsi yang dikembangkan untuk memfokuskan pada permasalahan, yaitu :

- 1) Laju kerusakan komponen bertambah sesuai dengan peningkatan pemakaian.
- 2) Peralatan yang telah dilakukan penggantian komponen akan kembali kepada kondisi semula. Tidak ada permasalahan dalam persediaan komponen. Pada model *Age Replacement* ini terdapat dua siklus operasi, yaitu :
 - a) Siklus I : pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan. Ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur pengantian sesuai dengan yang telah direncanakan.
 - b) Siklus 2 : Siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian kerusakan. Ditentukan melalui komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum waktu penggantian yang telah ditetapkan.

A. Kerangka Konsep

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk perawatan komponen pompa sentrifugal/ *finish water pump* di PDAM yaitu *regular maintenance* dan metode *age replacement* untuk melakukan perawatan pencegahan yang dilakukan dengan menetapkan interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan selang waktu kerusakan yang menuntut adanya tindakan perbaikan

penggantian dengan kriteria minimasi (Jardine & Tsang, 2013). Dalam model *Age Replacement* saat untuk dilakukan pergantian pencegahan adalah tergantung pada umur pakai dari komponen tersebut.



Gambar 2.2 Kerangka Konsep Penelitian

Dari bagan diatas diketahui bahwa sistem pompa sentrifugal di PDAM membutuhkan perawatan yang rutin guna untuk menjaga produktifitas dari kerja pompa sentrifugal. Pada saat melakukan *Maintenance* terdapat dua model *Maintenance* yaitu *Regular maintenance* dan *Age Replacement* model, dari kedua model tersebut tahap awal yang di lakukan adalah menentukan *Time Interval Maintenance Component* yang optimal bagi komponen tersebut, selanjutnya dengan meminimilasi pontesi *downtime* dari komponen tersebut, selanjutnya mentukan komponen kritis dari pompa sentrifugal dengan metode

ABC analysis setelah itu di tampilkan dengan diagram paretto. Dari kedua model tersebut akan di cari perbandingan *total cost component maintenance* yang mana akan diketahui tingkat efisiensi dari model *age replacement* akan lebih murah untuk total biaya pemeliharaan komponen tersebut.

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder dari seluruh komponen yang mengalami kerusakan pada mesin yang akan dianalisis pada periode 2021-2022 lalu dilakukan pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil dari pengolahan data pada *Microsoft Excel* berguna untuk mengetahui klasifikasi komponen, interval waktu penggantian komponen (*age replacement*) dan biaya alternatif (*cost of preventive alternative*). Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan *zero breakdown* untuk meningkatkan produktivitas perusahaan. Berikut langkah-langkah yang digunakan pada penelitian ini :

A. Pengumpulan data

Mengumpulkan data-data yang ada pada PDAM yang dibutuhkan sebagai pengolahan data. Adapun data yang diperlukan tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

1. Data selang waktu antar kerusakan.
2. Data jenis, jumlah, harga, dan frekuensi kerusakan komponen pompa sentrifugal/*finish water pump*
3. Data waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen pompa sentrifugal/ *finish water pump*.
4. Data output produksi, laba, produksi loss pada PDAM.
5. Data kebutuhan tenaga kerja dan biaya tenaga kerja.

B. Pengolahan data

Data yang sudah di kumpulkan selanjutnya akan di olah sesuai dengan kebutuhan dan metode/model yang akan digunakan

1. Penentuan komponen kritis

Pada tahap ini dilakukan penentuan komponen kritis dimana komponen tersebut yang sering mengalami kerusakan.

2. Penentuan distribusi kerusakan

Pada tahap penentuan distribusi kerusakan dapat dilihat dari data-data kerusakan komponen yang ada, selanjutnya dilakukan penentuan distribusi kerusakan untuk melakukan penentuan jadwal penggantian komponen kritis tersebut.

3. Perhitungan MTTF

Setelah beberapa tahap telah dilakukan, maka Perhitungan MTTF dilakukan untuk pengambilan data parameter yang diperlukan untuk perhitungan waktu penggantian komponen tersebut.

4. Perhitungan Biaya Kerusakan dan Biaya Pencegahan

Perhitungan biaya-biaya ini perlu dilakukan untuk kelengkapan parameter perhitungan model *age replacement*.

5. Penentuan Selang Waktu Penggantian Pencegahan

Setelah parameter didapatkan dari beberapa tahap. Maka penentuan selang waktu penggantian pencegahan dapat dilakukan dengan model *age replacement*.

6. Perhitungan Ongkos Saat Ini dan Usulan

Dari berbagai data yang didapatkan yaitu data biaya-biaya yang diperlukan. Maka dapat diperhitungkan total biaya sebelum dan sesudah tindakan preventive maintenance. Sehingga dapat terlihat perbedaan berapa biaya yang ditekan.

7. Hasil analisa dan pembahasan

Setelah sampai pada perhitungan akhir maka langkah selanjutnya adalah menganalisa dan membahas tentang hasil laporan penelitian yang telah dibuat. Hasil analisa ini nantinya dapat ditarik suatu kesimpulan dan saran.

8. Kesimpulan dan saran

Pada tahap ini semua permasalahan selesai, maka dapat dibuat poin yang berisi kesimpulan dan saran yang dapat dijadikan masukan untuk perbaikan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Pemilihan komponen kritis menggunakan metode *ABC analysis* dan di tampilkan dengan diagram pareto menunjukkan kelas A jatuh kepada komponen *gland packing* dengan mewakili nilai sebesar 61.54% dari total penggunaan biaya.
2. Model *Age Relacement* menunjukkan selang waktu penggantian komponen yaitu 23 hari sekali, yang mengindikasikan bahwa komponen tersebut harus dilakukan penggantian sebelum rusak kembali di hari ke 23 berikutnya .
3. Tingkat efisiensi yang menjadi dampak positif pada penghematan biaya adalah sebesar Rp. 42.975.000 atau sebesar 27.16% dari total biaya sebelumnya yaitu sebesar Rp. 158.175.000

B. Saran

1. Pembaharuan setiap data kerusakan pada *spreadsheet* untuk menjaga keakuratan *Age Replacement* sehingga tidak terjadi melesetnya jadwal perawatan komponen.
2. Dibuatkan aplikasi khusus untuk model *Age Replacement* ini untuk simplifikasi atau membuat sistem menjadi *userfriendly* untuk digunakan oleh operator *maintenance*.
3. Dalam penentuan interval agar sebaiknya pada penelitian selanjutnya menggunakan penerapan *internet of things* sehingga kerusakan mesin dapat dipantau secara daring.

DAFTAR PUSTAKA

- A.S Corder, Kusnul Hadi, A. S. (1992). Teknik Manajemen Perawatan. Erlangga.
- David D. Bedworth, J. E. B. W. (1987). *Integrated Production, Control Systems: Management, Analysis, and Design*.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering maintenance: A modern approach*. In *Engineering Maintenance: A Modern Approach*.
- Ekawati, C., & Mustofa, F. H. (2016). Jadwal Perawatan Preventive Pada Mesin Dyeing Menggunakan Metode Age Replacement di PT . Nobel Industries. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 4(2), 137–148.
- Evan, P. (2020). *Centrifugal Pump Basics. The Engineering Mindset*.
- Fansuri, F. R., Widiasih, W., & Nuha, H. (2017). Penentuan Interval Waktu Perawatan *Preventive Maintenance* Dan Biaya Perawatan Mesin *Bandsaw* Di Cv . Sisi Jati Bening Dengan Metode *Age Replacement*. *Optimasi Sistem Industri*, 1(1), 1–14.
- Gaspersz, V. (1998). Manajemen Produktivitas Total Strategi Peningkatan Produktivitas Bisnis Global. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ginting, M. (2009). Analisis Total *Productive Maintenance* Terhadap Efektivitas Produksi Tongkat. *Jurnal Austenit*, 1(2), 31–37.
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: Theory and applications, second edition*. In *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications, Second Edition*.
- Jay Heizer dan Barry render. (2011). Pengaruh Persediaan Bahan Baku Dan Proses Produksi Terhadap Kualitas Produk. *Jurnal Manajemen Dan Bisnis*.
- Kurniawan, F. (2013). Manajemen Perawatan Industri (Teknik dan Aplikasi). Graha Ilmu.
- Muhsin, A., & Syarafi, I. (2018). Analisis Keandalan Dan Laju Kerusakan Pada Mesin Continues Frying (Studi Kasus : PT XYZ). *Jurnal (OPSI) Optimasi Sistem Industri*, 11(1), 28–34.
- Ngadiyono, Y. (2010). Pemeliharaan Mekanik Industri. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Nisak, K., Nursanti, E., & Priyasmanu, T. (2022). Analisis Tingkat Keandalan Dan Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Mesin Pompa Air Di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang. *Jurnal Valtech*, 5(2), 217–223.

- 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.
- Prawiro, Y. Y. (2017a). Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis Pada Mesin *Volpack* Menggunakan Metode *Age Replacement*. *Jurnal Teknik Industri*, 16(2), 92–100.
- Prawiro, Y. Y. (2017b). Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis Pada Mesin *Volpack* Menggunakan Metode *Age Replacement*. *Jurnal Teknik Industri*, 16(2), 92.
- Purnama, J., Putra, Y. A., & Kalamollah, M. (2015). Metode *Age Replacement* Digunakan Untuk Menentukan Interval Waktu Perawatan Mesin Pada Armada Bus. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III*, 115–126.
- Ramadhan, M. A. Z., & Sukmono, T. (2018). Penentuan Interval Waktu *Preventive Maintenance* Pada *Nail Making Machine* Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*. *Prozima (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, 2(2), 49–57.
- Sachbudi, A. (2005). *Rekayasa Keandalan Produk*.
- Sofjan, A. (2009). *Manajemen Pemasaran*.
- Suryani, F., Siti Ayu Syarifa, & Azhari, A. (2023). Analisis Preventive Maintenance Komponen Mesin *Pulp* Dengan Metode *Age Replacement*. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 7(1), 115–125.
- Tamara, F. (2014). Analisis Prediksi Waktu Kegagalan Transformator Menggunakan Distribusi Weibull dan Distribusi Eksponensial. *Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia*, 1–19.
- Tampubolon, M. P. (2004). *Manajemen Operasional - 14*. Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Taufik, T., & Septyani, S. (2016). Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Turbin Di PT Pln (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 14(2), 238.
- Utama, F. Y., & Wibowo, H. (2018). Analisis *Preventive Maintenance* Terhadap *Submersible Pump 100 Dlc5 7, 5 T* Dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah. *Inajet*, 01(1), 35–43.
- Widodo, E. M., Rifa'i, A., & Prastiawan, D. (2022). Kebijakan Perawatan Pompa Sentrifugal Di Instalasi Sumber Mata Air Kanoman I PDAM Kota Magelang. *Borobudur Engineering Review*.
- Zamani, A. B., Nuruddin, M., & Dahda, S. S. (2023). Penentuan Interval Penggantian Komponen Mesin Pengayakan Batu Bara Menggunakan Metode *Age Replacement*. *VIII(1)*, 4341–4352.

