

ANALISIS PEMELIHARAAN MESIN SLUDGE SEPARATOR DENGAN PENDEKATAN RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) (Studi Kasus: PT. XXX)

Iwan Kurniawan^{1*}, Ahmad Zamakhsyari Sidiq², Wahyu Teri Aripin³

¹Program Studi Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknologi Cipasung, Jalan Raya Singaparna-Ciawi KM 1,
Cilampunghilir, Padakembang, Tasikmalaya 46466, Indonesia

*email: iwankurniawan@sttcipasung.ac.id (penulis korespondensi)

Diterima: 08-01-2025

Direvisi: 16-01-2025

Diterima setelah revisi: 22-01-2025

Abstract— Maintenance is an action to repair or prevent machine damage. Smooth production processes are demands that must be met so that company targets can be achieved. This happens due to damage to the machine or waiting for the ordered unit/parts to arrive to replace the damaged spare part. As a result, the agreed product completion time is not met. This study was conducted on the Sludge Separator machine by calculating the value of the damage rate function, the reliability function of critical components during production under certain conditions and periods. The data collected are data on the use of spare part damage data throughout 2021 and 2022 and the purchase price per unit of spare parts, therefore, to solve this problem, planned maintenance (corrective maintenance) is needed with a reliability approach. The data is processed using the reliability method by applying the Weibull distribution damage rate function to determine the amount of critical component inventory over a period of two years. The results of the study show that critical components are distributed Weibull. Based on the critical components that have been determined by the Weibull method over a period of two years for each critical component is the Bowl Spindle component as many as 3 units of optimal order (Q^*) = 1 unit/order reorder point (r) = 1 unit) paring Disc as many as 2 units (Q^* = 1 unit/order, r = 1 unit) 2.6546, Friction Pad & Screw as many as 4 units (Q^* = 3 units/order, r = 1 unit) = 1.5576 V Nozzle Q 1.60 mm 3 units (Q^* = 1 unit/order, r = 1 unit) = 2.0970.

Keywords— Reliability, Corrective maintenance, Sludge Separator Machine, Weibull Distribution

Abstrak— Perawatan adalah tindakan memperbaiki atau mencegah kerusakan pada suatu mesin. Kelancaran proses produksi merupakan syarat yang harus dipenuhi agar tujuan perusahaan dapat tercapai. Hal ini disebabkan karena kerusakan mesin atau menunggu kedatangan alat/komponen, diperintahkan untuk mengganti komponen yang rusak. Akibatnya, waktu penyelesaian produk yang disepakati tidak dipatuhi. Penelitian dilakukan pada pemisah lumpur dengan menghitung nilai fungsi tingkat kerusakan, yang merupakan fungsi keandalan komponen kritis selama produksi pada kondisi dan periode waktu tertentu. Data yang terkumpul merupakan data pemakaian kerusakan suku cadang dan harga beli per unit suku cadang pada tahun 2021 dan 2022. Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dilakukan perawatan terencana (perawatan korektif) yang berorientasi pada keandalan. Data diolah menggunakan teknik keandalan dengan menerapkan fungsi tingkat kerusakan distribusi Weibull untuk menentukan tingkat inventaris komponen kritis selama periode dua tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen kritis terdistribusi sesuai dengan hukum Weibull. Berdasarkan komponen kritis yang telah ditentukan dengan metode Weibull selama kurun waktu dua tahun untuk setiap komponen kritis, komponen spindel mangkuk sampai dengan 3 unit orde optimal (Q^*) = 1 unit/orde titik pemesanan ulang (r) = 1 unit) cakram pemotong sampai dengan 2 unit (Q^* = 1 unit/orde, r = 1 unit) 2,6546, bantalan gesek dan sekrup sampai dengan 4 unit (Q^* = 3 unit/orde, r = 1 unit) = 1,5576 V Nosel Q 1,60 mm 3 unit (Q^* = 1 unit/orde, r = 1 unit) = 2,0970.

Kata kunci— Reliability, Corrective maintenance, Mesin Sludge Separator, Distribusi Weibull

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia nyata, proses produksi pabrik sering kali terhambat oleh gangguan sistem yang disebabkan oleh kerusakan mesin produksi atau karena menunggu datangnya suku cadang yang dipesan untuk mengganti komponen yang rusak. Di sisi lain, proses produksi yang lancar merupakan syarat mendasar yang harus dipenuhi untuk mencapai target produksi.

Mesin dan perawatannya menerima perawatan setelah terjadi kerusakan (perawatan korektif) tanpa

memperhitungkan faktor keandalan komponen mesin. Selain itu, jika terjadi kerusakan pada komponen mesin, perusahaan tidak memiliki stok yang cukup untuk mengganti komponen yang rusak. Hingga saat ini, hanya perkiraan berdasarkan permintaan di masa lalu yang digunakan untuk menentukan tingkat stok komponen yang rusak.

Hal ini memerlukan pengelolaan inventaris suku cadang, yang ditentukan berdasarkan keandalan, permintaan, dan biaya suku cadang. Dari segi biaya, menyimpan komponen di gudang dalam jangka waktu yang lama dapat membebani bisnis dalam hal biaya suku cadang komponen kritis, penyusutan saldo stok di gudang, dan lain-lain.

Berinvestasi pada persediaan suku cadang memang memakan biaya, namun sebaliknya suku cadang harus siap di gudang untuk menghindari kebutuhan suku cadang yang tiba-tiba dan kekurangan pada saat perbaikan (pemeliharaan) mesin yang rusak. Tingkat persediaan yang rendah mengganggu kelancaran proses layanan dan menyebabkan peningkatan kerugian.

Berinvestasi pada stok komponen memang memakan biaya yang besar, namun sebaliknya komponen harus dipersiapkan dalam stok untuk memastikan bahwa komponen tersebut dibutuhkan secara tiba-tiba jika terjadi perbaikan mesin yang rusak (maintenance) dan tidak terjadi kekurangan. Jika stok sedikit maka akan mengganggu kelancaran proses pemeliharaan sehingga menyebabkan kerugian yang lebih tinggi.

Umumnya, penyebab disfungsi dalam industri adalah faktor industri dan wawancara, dan diklasifikasikan sebagai bahan baku, yaitu faktor manusia, faktor mekanik, dan lingkungan. Faktor terpenting dalam kondisi di atas adalah kinerja mesin yang digunakan. Dalam banyak kasus, mesin terjadi karena kerusakan dan perawatan preventif. Jika mesin tiba-tiba rusak karena perawatan yang tidak memadai, kualitas dan produktivitas produk akan berkurang. Setiap masalah mesin atau sistem tidak sama. Oleh karena itu, seluruh mobil atau komponen mesinnya sendiri mendapat proses yang sama dengan mesin lainnya. Untuk mempertahankan tingkat kritis yang tinggi, diperlukan tindakan pencegahan atau perlakuan khusus agar tidak mempengaruhi kelancaran operasional jalur produksi. Terdapat tingkat kepentingan yang terkait dengan penanganan mesin khusus bentuk ini yang memungkinkan Anda meminimalkan jumlah waktu mesin tidak dapat menjalankan tugasnya (downtime) karena kerusakan yang terjadi. Oleh karena itu, perencanaan waktu pemeliharaan komponen-komponen mesin yang krusial guna meminimalisir waktu henti sangat penting dilakukan guna menjaga kinerja mesin atau sistem itu sendiri.

Begitu pula dengan Dwikarya Mandiri yang merupakan perusahaan sistem manufaktur khususnya sludge separator, dalam kegiatan operasionalnya perusahaan beroperasi secara terus menerus (kontinyu) sehingga tidak ada kondisi untuk menghentikan produksi. Perusahaan juga menggunakan mesin bubut dalam jumlah banyak, sehingga penelitian ini difokuskan pada sludge separator yang berfungsi sebagai mesin pemisah minyak dari air atau kotoran, yaitu mesin yang memisahkan part dengan berat jenis lebih besar dari 1 dari minyak.

Ada beberapa faktor penyebab kerusakan mesin, yaitu: keausan (wear out), korosi (corrosion) dan kelelahan (fatigue) (Suharto,1991). Untuk menghindari kerusakan yang permanen maka diperlukan perawatan yang efektif, namun tidak menutup kemungkinan kerusakan mesin selalu terjadi selama proses berlangsung sehingga dilakukan perencanaan perawatan yang sesuai dengan kehandalan mesin tersebut. Bila kehandalan diartikan sebagai probabilitas suatu unit atau sistem beroperasi secara normal jika digunakan sesuai operasi tertentu dalam jangka waktu tertentu. Dimana kerusakan yang dimaksud adalah kerusakan yang terjadi secara tiba-tiba dan mesin berhenti sementara secara terus menerus akibat dari operasi penghentian mesin yang tidak terencana yang dapat menyebabkan target yang direncanakan menjadi tidak tercapai. Kerusakan mungkin disebabkan oleh jadwal pemeliharaan yang tidak akurat. Oleh karena itu dilakukan perawatan preventif dengan cara merencanakan waktu perawatan dan mengurangi tingkat kerusakan pada komponen penting mesin tersebut selama operasi berlangsung.

II. LANDASAN TEORI

A. Definisi Perawatan

Pemeliharaan dapat didefinisikan sebagai konsep semua aktivitas dan tindakan yang diperlukan untuk menjaga kualitas suatu mesin, peralatan atau bahkan suatu sistem dan menjaganya agar berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya. Pemeliharaan hendaknya dilakukan terus menerus dan sesuai peruntukannya. Dengan perawatan yang terus menerus maka kualitas mesin akan tetap terjaga dan umur pemakaiannya dapat diperpanjang.

Pemeliharaan melibatkan dukungan operasi bisnis dengan cara yang efektif, efisien dan berbiaya rendah. Mesin produksi memerlukan biaya perawatan sehingga harus dapat beroperasi secara normal dan tanpa kerusakan dalam jangka waktu tertentu sesuai rencana. Beberapa tujuan perawatan yang utama adalah (Sudrajat, 2011).

1. Kapasitas produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai rencana produksi.
2. Menjaga kualitas yang sesuai dengan kebutuhan produk itu sendiri dan memastikan kelancaran produksi.
3. Membantu mengurangi penggunaan dan pelanggaran di luar batas yang ditetapkan dan menjaga modal yang ditanamkan pada perusahaan untuk jangka waktu tertentu sesuai kebijakan investasi perusahaan.
4. Mencapai tingkat biaya pemeliharaan secara keseluruhan secara efektif dan efisien.
5. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan fasilitas tersebut.
6. Maksimalkan ketersediaan seluruh peralatan dalam sistem produksi Anda dengan mengurangi waktu henti.
7. Memperpanjang umur mesin.

B. Jenis-Jenis *Maintenance*

Karena kegiatan pemeliharaan berdampak signifikan terhadap kualitas produk, keamanan, harga, dan kapasitas produksi, maka harus dilakukan secara legal. Berikut ini empat jenis pemeliharaan yang terdiri dari:

1. *Preventive Maintenance*

Pemeliharaan preventif adalah pemeliharaan terencana yang dilakukan sebelum suatu sistem gagal. Inspeksi, perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, koreksi dan persiapan sistem yang dipelihara adalah beberapa kegiatannya. Pemeliharaan preventif bertujuan untuk memperpanjang masa manfaat pabrik dan memastikan bahwa proses produksi mengikuti jadwal waktu, uang, dan keluaran.

2. *Corrective Maintenance*

Pemeliharaan korektif dilakukan ketika suatu sistem gagal atau produk yang diproduksi tidak memenuhi harapan dalam hal kualitas, kuantitas atau pengerjaan. Sebagai bagian dari pemeliharaan korektif, sistem yang rusak diganti atau diperbaiki.

3. *Predictive Maintenance*

Perawatan prediktif adalah proses pemeriksaan rutin kondisi mekanis aktual, efektivitas pengoperasian, dan indikator kondisi pengoperasian lainnya dari rangkaian mesin dan sistem proses. Anda akan memiliki pengetahuan yang diperlukan untuk menjamin interval perbaikan terpanjang, menurunkan jumlah pemadaman yang tidak direncanakan yang disebabkan oleh kerusakan mesin, dan menurunkan biayanya.

4. *Breakdown Maintenance*

Karena fasilitas harus berjalan terus menerus dan memiliki persyaratan operasi khusus yang harus dipenuhi, pemeliharaan kerusakan harus dihindari. Sistem tidak akan berfungsi jika terjadi kesalahan, dan tujuannya tidak akan tercapai.

Kesalahan perawatan ini sering terjadi tanpa peringatan. Penutupan yang tidak terduga.

C. Total Productive Maintenance (TPM)

1. Pengertian *Total Productive Maintenance* (TPM)

Total Productive Maintenance (TPM) merupakan konsep suatu program tentang perawatan, dimana seluruh karyawan turut berpartisipasi dengan menggunakan kegiatan-kegiatan dalam kelompok-kelompok kecil (Nakajima, 1988 dalam Ansori dan Mustajib (2013:101). Sedangkan menurut Kurniawan (2013:11) mendefinisikan General Production Maintenance (TPM) sebagai suatu kegiatan perawatan teknis yang mengikutsertakan seluruh unsur perusahaan yang bertujuan untuk menciptakan suasana kritis (critical mass) dalam lingkungan industri agar tercapai *zero decay*, *zero defect* dan *zero accident*.

Wang (2011) dalam Kurniawan (2013:11) menyatakan bahwa TPM adalah proses yang ditujukan untuk memaksimalkan pemanfaatan peralatan dengan mengurangi waktu henti dan meningkatkan kualitas dan produktivitas.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa *Total Productive Maintenance* (TPM) merupakan suatu kegiatan pemeliharaan yang melibatkan seluruh elemen perusahaan, yang bertujuan untuk menciptakan critical mass dalam lingkungan industri guna mencapai *zero breakdown*, *zero defect* dan *zero accident*.

Total Production Maintenance (TPM) adalah sebuah filosofi yang bertujuan untuk memaksimalkan efektivitas fasilitas yang digunakan dalam industri. Ciptakan setiap aspek instalasi. Komponen TPM umumnya terdiri dari tiga bagian.

a. *Total Approach*

Semua orang terlibat, bertanggung jawab, dan mendukung semua kemampuan yang tersedia dalam proses implementasi TPM.

b. *Productive Action*

Sikap proaktif dari seluruh karyawan terhadap kondisi dan operasi dari fasilitas produksi.

c. *Maintenance*

Pengenalan efisiensi dan peningkatan fasilitas dan unit produksi.

Total Productive Maintenance (TPM) adalah konsep layanan yang melibatkan semua karyawan. Tujuannya adalah untuk mencapai efisiensi di seluruh sistem produksi melalui kegiatan layanan partisipatif dan produktif. Program TPM menghargai partisipasi semua orang dan memberikan perhatian kepada semua orang.

Pengembangan program TPM dapat dilihat pada Tabel 1. Misalnya, kemacetan dalam mesin dapat disamakan dengan cacat produksi yang terjadi pada jalur produksi: sama seperti kualitas terbaik diproduksi di bagian hulu, selama produksi daripada melalui pengendalian, pemeliharaan produksi lebih baik daripada pemeliharaan setelah kerusakan (Kiyoshi Suzaki, 1987:132).

Tabel 1. KRITERIA TPM

Kriteria	TPM
Masalah Pemecahan Tradisional	Pemecahan masalah mesin dan penggantian suku cadang
Pemecahan yang ditingkatkan	Perawatan sesuai kondisi mesin Pencegahan kerusakan Perawatan preventif
Pemantau informasi	Catatan gangguan mesin
Berdasarkan dasar	Pendidikan karyawan, penerangan karyawan, " <i>Maintenance is free</i> "

Sumber: Kiyoshi Suzaki (1987:132)

Seiichi Nakajima (1988:10) Dalam pengembangan awalnya, TPM berfokus pada layanan (mendukung proses produksi perusahaan), tetapi definisi lainnya meliputi:

- TPM berusaha memaksimalkan efisiensi peralatan secara keseluruhan (general equipmentefisiensi).
- TPM adalah sistem pemeliharaan preventif (PM) yang mencakup umur suatu perusahaan.
- TPM mencakup seluruh departemen perusahaan (desain, operasi, dan penawaran).
- TPM melibatkan semua orang mulai dari eksekutif hingga pekerja di lantai produksi.
- TPM sebagai landasan untuk mempromosikan PM dengan mengelola motivasi, berupa kegiatan mandiri dalam kelompok kecil.
- Kata "total" dalam pemeliharaan produktif total mempunyai tiga arti, yaitu: (Seiichi Nakajima, 1988 : 11).

Preventive maintenance (PM) adalah pemeliharaan teknis yang dilakukan dengan tujuan mencegah kegagalan peralatan sebelum terjadi. Pemeliharaan preventif dilakukan secara terus-menerus dan berkala dengan perhatian khusus sesuai spesifikasi peralatan. Pemeliharaan prediktif adalah teknik pemeliharaan yang menghindari pemeliharaan atau membebaskan peralatan dari kebutuhan pemeliharaan (desain bebas pemeliharaan). Peningkatan pemeliharaan adalah perbaikan atau modifikasi peralatan untuk menghindari kegagalan peralatan dan memudahkan pemeliharaan. Pemeliharaan produktif merupakan hasil pengembangan pemeliharaan preventif, pemeliharaan prediktif, dan peningkatan pemeliharaan, dipadukan dengan prinsip *Design for Life Cycle Costing (DTLCC)* . Desain biaya siklus hidup untuk biaya peralatan. Biaya siklus hidup adalah biaya yang dikeluarkan selama umur peralatan. (Seiichi Nakajima, 1998 : 11).

Roy Davis (1995:51-52) LCC adalah singkatan dari Total Cost of Ownership dan dapat dibagi menjadi beberapa jenis termasuk:

- a) Pendapatan dan biaya.
Biaya model, biaya pengiriman dan pemasangan.
- b) Biaya kepemilikan.
Biaya modifikasi, perawatan pencegahan dan perbaikan.
- c) Biaya operasi.
Biaya material, bahan bakar, dan energi.
- d) Biaya manajemen.
Biaya pendapatan, berkas, dan data dokumen.

2. Filosofi dan Konsep Total Productive Maintenance

Roy Davis (1995:21) Filosofi dari *Total Productive Maintenance* berisi beberapa elemen, antara lain:

- a. Kerja sama tim
- b. Saling menghormati di semua tingkatan manajemen.
- c. Memotivasi karyawan di semua tingkatan manajemen. Keterlibatan dan dorongan.
- d. Kepemimpinan dan dukungan aktif.
- e. Kesempatan bagi karyawan untuk memperoleh dan meningkatkan keterampilan dan pengalaman, serta mengembangkan potensi penuh mereka.
- f. Peningkatan berkelanjutan, selalu bekerja keras untuk yang terbaik.
- g. Memberikan pengakuan dan insentif bisnis.

3. Tujuan dan Sasaran *Total Productive Maintenance*

Menurut Seiichi Nakajima & Benyamin S.B., (1989:24) Tujuan utama dari TPM adalah :

- a. Mengurangi waktu (latensi) selama bekerja.
- b. Meningkatkan ketersediaan, meningkatkan waktu produktif.
- c. Memperpanjang umur peralatan Anda.
- d. Dengan bantuan personel pemeliharaan, libatkan pengguna peralatan dalam pemeliharaan.
- e. Melakukan pemeliharaan preventif (rutin dan kondisional).
- f. Meningkatkan pemeliharaan peralatan melalui penggunaan sistem pakar untuk diagnosis dan peninjauan tahap desain.

III. METODE PENELITIAN

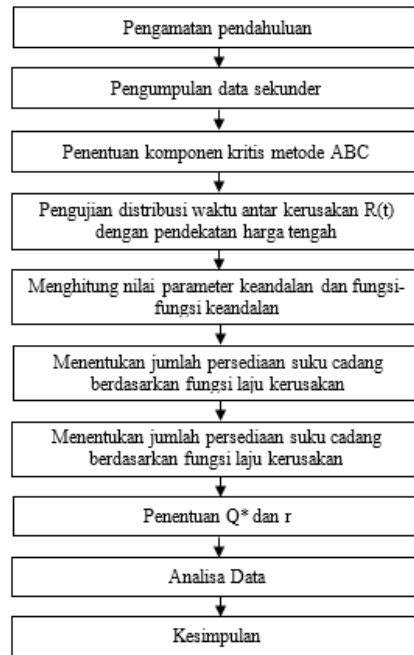
Beberapa data digunakan untuk mendukung penelitian ini. Dengan kata lain, penggunaan data sekunder. Data sekunder tidak diamati secara langsung oleh peneliti. Data ini diperoleh dari dokumen perusahaan, penelitian sebelumnya, dan data lainnya. Dalam penelitian ini, data diperoleh dari hasil penelitian Memed Akbar tahun 2016. Data sekunder yang dibutuhkan untuk penelitian ini:

- 1. Data pemakaian spare part
- 2. Data kerusakan spare part
- 3. Harga pembelian masing-masing suku cadang

Data yang dibutuhkan dikumpulkan sebagai berikut:

- 1. Membaca laporan manajemen dan catatan perusahaan yang terkait dengan data yang dibutuhkan, yaitu data penggunaan suku cadang sludge separator dan data kerusakan suku cadang.
- 2. Keahlian kepustakaan yang meliputi membaca buku dan jurnal penelitian yang terkait dengan keandalan dan aplikasi *sludge separator*.

Setelah data yang dibutuhkan terkumpul, data tersebut diolah berdasarkan seperangkat konsep reliabilitas. Diagram blok pengolahan data ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Pengolahan dan Pengumpulan Data

IV. HASIL PENELITIAN

A. Pemilihan Komponen Kritis Dengan Metode ABC

Untuk memudahkan dalam mengklarifikasi materi, biasanya digunakan skala prioritas. Metode yang digunakan penulis untuk mengklarifikasi materi adalah diagram Pareto atau istilah lain dari metode ABC. Metode ini didasarkan pada pertimbangan biaya investasi, frekuensi kerusakan, dan jumlah komponen mesin.

Berdasarkan analisis Pareto (metode ABC) (**Tabel 2**), diperoleh kelas A terdiri dari empat komponen yaitu bowl spindle Pn 67347-00, pairing disc Pn 528537-02, friction pad dan screw 76282 Lbg 4, nozzle Q 1,60 mm, Pn 534149.83. Untuk mengetahui nilai keandalan komponen kritis sludge separator, maka dilakukan penentuan parameter damage time dan distribusi Weibull terhadap seluruh suku cadang kelas A (kritis).

B. Pengujian Distribusi Waktu antar Kerusakan

Dalam penelitian ini perlu dilakukan pembagian waktu antar kegagalan komponen kritis sesuai dengan karakteristik data kerusakan. Untuk memeriksa distribusi waktu antara kegagalan komponen, dilakukan uji distribusi Weibull dua parameter yang dikembangkan oleh kelompok Mann. Uji distribusi dilakukan untuk menentukan apakah interval waktu (TTF) antara data kerusakan yang digunakan konsisten dengan distribusi kerusakan yang dipilih, yaitu distribusi Weibull. Uji Mann digunakan karena dapat digunakan untuk sampel data yang kecil dan proses perhitungannya lebih sederhana.

C. Penentuan Parameter Distribusi Antar Waktu Kerusakan Dan Fungsi-Fungsi Keandalan

Jika terbukti bahwa pola antar kerusakan terdistribusi menurut hukum Weibull dua parameter, maka parameter distribusi antar kerusakan ditentukan, yaitu menurut regresi linier $Y = A + bt$. Setelah memperoleh parameter, fungsi keandalan Weibull dua parameter ditentukan. Secara sistematis, perhitungan setiap fungsi distribusi meliputi: perhitungan fungsi kepadatan kegagalan, fungsi distribusi kumulatif, fungsi keandalan dan fungsi intensitas kerusakan.

Tabel 2. KLASIFIKASI KOMPONEN MENURUT KONSEP ABC

No	Nama Komponen	Presentase nilai tiap barang	Persentase nilai barang (%)	Persentase Jumlah barang (%)	Kategori
1	Bowl Spindle Pn 67347-00	17.4534	59.9524	x100%= 16.66	A
2	Paring Disc, Pn 528537-02	14.5445			
3	Friction pad & screw 71628 Lbg 4	14.4572			
4	Nozzle Q 1,60 mm, 534149,34	13.4973			
5	Distribution Inset Pn, 531445,02	7.2723	24,2602	x100%=20,83	B
6	Ball Bearing Pn 651861(6015 M)	4.5815			
7	Bushing Pn 532680-01	4.1888			
8	Ball bearing, Pn 651857 (6014 M)	4.1452			
9	Eroton upper guard, 531444,80	4.0725	15,7873	x100% =62,50	C
10	Radial Ball Bearing Pn, 60992	3.7088			
11	Level tube Pn 516240-82	3.3161			
12	Eroton Guard Lower 535892,80	3.0543			
13	Friction Block, Pn 74316	2.1162			
14	Slave botton bearing,521651.2	1.1999			
15	Distribution Tube, Pn 536224,01	0.9425			
16	Nofuse breaker 50A-3P	0.4363			
17	Seal ring 67034	0.3091			
18	Spring, Pn 66191	0.1818			
19	Elastic plate 60571-00	0.1454			
20	Bearing SKF 6308	0.1454			
21	Seal ring 71866	0.0727			
22	Bearing SKF 6305	0.0669			
23	Bearing SKF6205	0.0553			
24	Seal ring 38411	0.0364			

Tabel 3. MENENTUKAN NILAI PARAMETER KOMPONEN BOWL SPINDLE PN 67347-00

No (i)	(TTF) Hari	Rank(ti)	R(t)	Y_i ($\ln(\ln 1/R(t))$)	F (ti)	X_i	$x_i.y_i$	X_i^2
1	106	3,533	0,84 0	-1,752	0,159	4,663	-8,174	21,74
2	148	4,933	0,61 3	-0,716	0,386	4,997	-3,581	24,97
3	194	6,466	0,38 6	-0,050	0,613	5,267	-0,264	27,75
4	204	6,800	0,15 9	-0,608	0,840	5,318	3,237	28,28
Total				-1,911	2,000	20,24	-8,783	102,75

1. Penentuan Parameter Distribusi Weibull Untuk Komponen Bowl Spindle Pn 67347-00

Perhitungan parameter kompone Bowl Spindle Pn, 67347-00 adalah sebagai berikut : Untuk $i = 1$ dengan $t_i = 3,5333$ maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} F(t_i) &= (i-0,3)/(n+0,4) \\ R(28) &= (i-0,3)/(4+0,4) \\ R(28) &= 0,1590 \\ R(t) &= 1-F(t) \\ F(28) &= 1-0,1590 \\ F(28) &= 0,8409 \end{aligned}$$

Penentuan parameter fungsi distribusi Weibull sebagai fungsi nilai keandalan dan waktu kegagalan (TTF) untuk spindel mangkuk Pn 67347-00. Dari **Tabel 3** diperoleh:

$$\begin{aligned} \sum x_i &= 20,2466 \\ \sum y_i &= -1,9110 \\ \sum x_i^2 &= 409,9248 \\ \sum &= 102,7525 \\ \sum x_i \cdot y_i &= -8,7831 \end{aligned}$$

Nilai konstan α dan β dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum (x_i)^2 - (\sum x_i)^2} & \beta &= \frac{4 \times (-8,7831) - (20,2466) \times (-1,9110)}{4 \times 102,7525 - (20,2466)^2} \\ \beta &= 3,2838 \\ c &= \frac{n \sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum (x_i)^2 - (\sum x_i)^2} \\ c &= \frac{(4 \times 102,7525 \times -1,9110) - (20,2466 \times -8,7831)}{4 \times 102,7525 - (20,2466)^2} c = 16,6163 \\ \alpha &= \exp\left(\frac{c}{\beta}\right) \\ \alpha &= \exp\left(\frac{16,6163}{3,2838}\right) \\ \alpha &= 157,5905 \end{aligned}$$

2. Uji kerusakan distribusi Weibull untuk Spare part Bowl Spindle Pn67347-00

Uji kesesuaian distribusi pada tingkat keyakinan 95% dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} T_i &= 106 \\ X_i &= \ln(t_i) \\ X_i &= \ln(106) \\ X_i &= 4,6634 \\ X(i+1) - X_i &= 4,9972 - 4,6634 \\ X(i+1) - X_i &= 0,3338 \\ (X(i+1) - X_i)/M_i &= 0,3338/1,0790 \\ (X(i+1) - X_i)/M_i &= 0,2901 \text{ (nilai dari tabel distribusi Weibull dua parameter)} \end{aligned}$$

Oleh karena itu, langkah selanjutnya adalah menghitung uji distribusi Weibull dua parameter untuk komponen spindel mangkuk. Hasil untuk Pn 673447-00 ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. UJI KERUSAKAN DISTRIBUSI WEIBULL 2 PARAMETER UNTUK KOMPONEN BOWL SPINDLE, PN 67347-00

No	N (event)	TTF (Hari) (t_i)	X_i $= \ln(t_i)$	$X(i+1) - X_i$	M_i (Tabel)	$X(i+1) - X_i/M_i$
1	1	106	4,6634	0,3338	1,1507	0,2901
2	2	148	4,9972	0,2706	0,7067	0,3830
3	3	194	5,2679	0,0503	0,6796	0,0740
4	4	204	5,3181			
Total			20,246	0,6547	2,5370	0,7471

Dari Tabel 4. diperoleh:

$$S_{\alpha test} = \frac{\sum_{i=1}^{r-1} \left(\frac{X_{i+1}-X_i}{M_i} \right)^2 + 2}{\sum_{i=1}^{r-1} \left(\frac{X_{i+1}-X_i}{M_i} \right)}$$

$$S_{\alpha test} = (4/2) + 1 = 3$$

$$S_{\alpha test} = \frac{0,0740}{0,291+0,3830+0,0740}$$

$$S_{\alpha test} = \frac{0,0740}{0,7470}$$

$$S_{\alpha test} = 0,0990$$

Diketahui : = 0,95 (dari tabel terlampir)

Maka Stes < S

Kesimpulan :

Ho = dapat diterima Bowl Spindle . Pn 67347-00 berdistribusi dua parameter.

Dengan menggunakan rumus yang sama lakukan penentuan parameter distribusi weibull dan uji kerusakan untuk komponen lainnya, yaitu: Komponen Paring Disc, Pn528537-02 Komponen Friction pad & screw, Pn 76282 Lbg 4, Komponen Nozzle Q 1,60 mm, Pn 534149,83.

3. Konsep keandalan Bowl Spindle, Pn 67347-00.

Nilai keandalan berdasarkan interval waktu kerusakan (TTF) SparePart selama dua tahun (2011-2012) dengan distribusi Weibull.

$$\beta=3,2833 \quad \alpha=157,5905 \quad c=16,493$$

Fungsi kepadatan probabilitas *bowl spidle* Pn 67347-00 yang mengikuti distribusi Weibull adalah

$$F(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right]$$

$$= \frac{3,2838}{157,5905} \left(\frac{106}{157,5905} \right)^{3,2833-1} \exp \left[- \left(\frac{106}{157,5905} \right)^{3,2833} \right]$$

$$f(t) = 0,0062$$

Fungsi distribusi kumulatif komponen *bowl spindle* Pn 63747-00 yang mengikutidistribusi *Weibull*.

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right]$$

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{106}{157,5905} \right)^{3,2838} \right]$$

$$F(t) = 0,2380$$

Fungsi keandalan komponen *Bowl Spindle* Pn 63747-00 yang mengukuti distribusi *Weibull*.

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right]$$

$$= \exp \left[- \left(\frac{106}{157,5905} \right)^{3,2838} \right]$$

$$= 0,7614$$

Fungsi laju kerusakan komponen *Bowl Spindle* Pn 63747-00 yang mengikuti *Weibull*.

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

$$= \frac{f}{R} = \frac{3,2383}{157,5905} \left(\frac{106}{157,5905} \right)^{15576-1}$$

$$= 0.00842$$

Dengan menggunakan persamaan di atas, dilakukan perhitungan untuk setiap fungsi kerapatan probabilitas. Fungsi probabilitas, fungsi distribusi kumulatif, fungsi keandalan, dan fungsi tingkat kerusakan komponen Bowl Spindle Pn 63747-00. Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan.

Tabel 5. NILAI-NILAI FUNGSI KENADALAN KOMPONEN *BOWL SPINDLE* PN 63747-00

No	Ti	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
1	3.5333	0.0064	0.2450	0.7619	0.0084
2	4.9333	0.0080	0.5688	0.4432	0.0181
3	6.4667	0.0046	0.8707	0.1382	0.0335
4	6.8000	0.0036	0.9104	0.0969	0.0376

Tingkat keandalan terdistribusi Weibull diukur selama interval waktu 2 tahun, dengan waktu rata-rata hingga kegagalan mesin (TTF) 106 hari.

1. Fungsi kepadatan probabilitas.
 $f(t) = 0.0064/$ tahun
2. Fungsidistribusi kumulatif
 $F(t) = 0.2450/$ tahun
3. Fungsi keandalan
 $R(t) = 0,7619/$ tahun
4. Fungsi laju kerusakan
 $h(t) = 0.0084 /$ tahun.

D. Penentuan Jumlah Persediaan

Tentukan kebutuhan inventaris optimal untuk komponen-komponen penting pemisah bubuk selama periode satu tahun berdasarkan fungsi tingkat kerusakan. Tingkat inventaris ini ditentukan dengan mengalikan komponen suku cadang yang dipasang pada mesin, nilai rata-rata fungsi tingkat kerusakan suku cadang selama dua tahun, dan masa pakai mesin selama dua tahun.

1. Jumlah kebutuhan untuk Bowl Spindle, Pn 67347-00

Setelah melihat fungsi laju probabilitas kerusakan pada komponen spindel PN 67347-00, probabilitas kerusakan yang terjadi dalam interval waktu rata-rata, untuk menentukan kebutuhan *spindel* pada mangkuk, PN 67347-00 ditentukan atas dasar dasar yang didasarkan pada nilai rata-rata kerusakan °C dengan menggunakan interval waktu rata-rata antar kerusakan.

Selang waktu antar kerusakan rata-rata adalah :

$$= \frac{106 + 148 + 194 + 204}{4}$$

$$= \frac{652}{4}$$

$$= 163$$

Laju kerusakan selang antar waktu $t = 163$

$$\lambda = \frac{\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}{t}$$

$$\lambda = \frac{\left(\frac{163}{157,0959}\right)^{3,2838}}{163}$$

$$\lambda = 0,0068/hari$$

Frekuensi rata-rata cedera selama dua tahun adalah sebagai berikut: Dalam dua tahun terakhir pada Tabel 5, cedera terjadi 4 kali, jadi rata-rata terjadi 2 kali per tahun. Jumlah komponen pin mangkuk Pn 67347-00 pada mesin pemisah lumpur yang dibutuhkan adalah 1 unit, jadi persyaratan untuk pengujian komponen pin mangkuk Pn 67347-00 dalam waktu dua tahun adalah sebagai berikut:

$$DT = 2 \times 0.0068 \times 720 = 9,792 \approx 10 \text{ unit}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama dilakukan penentuan jumlah kebutuhan untuk Komponen Paring Disc, Pn528537-02 Komponen Friction pad & screw, Pn 76282 Lbg 4, Komponen Nozzle Q 1,60 mm, Pn 534149,83.

E. Menentukan Jumlah Pemesanan (Q^*) dan titik pemesanan kembali (r)

Untuk menentukan jumlah pesanan dan titik pemesanan ulang yang optimal, digunakan model persediaan Q (model titik pemesanan ulang ukuran lot), yang menetapkan jumlah pesanan dan memvariasikan interval waktu antar pesanan. Pemilihan metode ini didasarkan pada pertimbangan berikut:

- Persediaan rata-rata di gudang dijaga sekecil mungkin karena harga komponen mahal sehingga biaya penyimpanan kecil.
- Risiko kehabisan stok juga lebih kecil.

V. PEMBAHASAN

Berdasarkan keputusan komponen-komponen penting dengan menggunakan metode ABC dan analisis parametrik mesin pemisah lumpur, komponen yang paling banyak investasinya (kelas komponen penting A) adalah empat komponen, spindle volc. PN 67347-00, cakram pemeliharaan anak. PN 528537-02, bantalan dan sekrup 76282 LBG 4 dan nosel A Q 1,60 mm. Total rasio PN 534149,83 telah mencapai 59,9524 %. Berdasarkan uji distribusi, semua data interval waktu kerusakan komponen kritis mesin pemisah lumpur sesuai dengan uji distribusi dapat diamati pada Tabel 6.

Tabel 6. HASIL UJI DISTRIBUSI SPARE PART MESIN SLUDGE SEPARATOR

	Nama Spare Part	<i>n</i> (event)	S test	S tabel	Kesimpulan (<i>H₀</i>)
1	Bowl Spindle Pn,67347-00	4	0.090	0,76	Diterima
2	Paring Disc, Pn 528537-02	5	0,5413	0,86	Diterima
3	Pricton Pad & Screw 76282 Lbg4	7	0,6089	0,80	Diterima
4	Nozzle Q 1,60 mm. Pn 534149.83	4	0,5580	0,76	Diterima

Dari hasil pengujian distribusi dengan uji mann dengan nilai taraf kepercayaan (α) 95% menunjukkan bahwa semua data mengikuti distribusi kerusakan yaitu distribusi *Weibull*. Pada penelitian ini distribusi kerusakan yang digunakan adalah distribusi Vaibullae. Tabel 7 menunjukkan hasil parameter distribusi kerusakan *Weibull*.

Tabel 7. NILAI PARAMETER DISTRIBUSI SPARE PART MESIN SLUDGE SEPARATOR

Nama Spare Part			Kesimpulan	
			Bentuk	Failures
Bowl Spindle Pn,67347-00	15,5905	3,2838	> 1	Wear- out
Paring Disc, Pn 528537-02	96,2944	2,6546	> 1	Wear- out
Pricton Pad & Screw 76282 Lbg4	81,5797	1,5576	> 1	Wear- out
Nozzle Q 1,60 mm. Pn 534149.83	183,7176	2.0970	> 1	Wear- out

Berdasarkan Tabel 7, semua suku cadang dengan jenis kerusakan akibat keausan ini (> 1) menunjukkan peningkatan tingkat kerusakan seiring bertambahnya usia mesin.

Keandalan adalah probabilitas bahwa suatu sistem akan beroperasi dengan benar dalam kondisi tertentu dan untuk jangka waktu tertentu. Data kerusakan diperoleh berdasarkan perhitungan waktu. Hasil perhitungan keandalan memberikan fungsi tingkat kerusakan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8, yang dapat digunakan untuk menentukan jumlah cadangan optimal yang diperlukan untuk periode dua tahun.

Untuk memenuhi kebutuhan setiap suku cadang, Anda perlu membuat sistem inventaris yang memenuhi kebutuhan suku cadang yang rusak. Berdasarkan biaya penyimpanan, biaya pemesanan, dan jumlah barang yang dibutuhkan per tahun, Anda dapat menentukan jumlah pesanan optimal (Q^*) dan jumlah pemesanan ulang (r) dalam hal biaya untuk setiap suku cadang.

Tabel 8. ANALISA KEANDALAN UNTUK PERSEDIAAN OPTIMAL PER TAHUN

No	Nama Spare Part	Pemakaian Per Tahun (unit)	Keandalan R (t)	Laju Kerusakan h(t)	Persediaan Optimal/tahun (Q)
1	Bowl Spindle Pn,67347-00	2	0.2381	0.0084	3
2	Paring Disc, Pn 528537-02	2	0.1977	0.0239	2
3	Pricton Pad & Screw 76282 Lbg4	3	0.8277	0.0105	4
4	Nozzle Q 1,60 mm. Pn 534149.83	2	0.7294	0.0062	3

A. Bowl Spindle, Pn 67347-00

1. Tentukan biaya tahunan kepemilikan Bown Spindle (Pn 67347-00). Biaya penyimpanan meliputi biaya penyimpanan, pajak dan asuransi, biaya pemindahan 12% dan bunga atas penyusutan modal yang diinvestasikan 4%. Biaya penyimpanan Bowl Spindle, Pn 67347-00 adalah $16\% \times \text{Rp } 6.000.000 = \text{Rp } 960.000$.
2. Biaya pemesanan tiap suku cadang: Rs. 62.000.
3. Jumlah permintaan pertahun (A) 2 unit
Berdasarkan biaya tersebut maka besarnya pemesanan untuk Bowl Spindle, Pn 67347-00 dalam dua tahun :

$$Q^* = \sqrt{\frac{(2 \cdot AP)}{C}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{(2 \cdot (2)(\text{Rp}.62.000))}{(\text{Rp}.960.000)}}$$

$$Q^* = \sqrt{0,25833}$$

$$Q^* = 0,5082 = 1 \text{ unit/pesan}$$
Pemesan kembali dilakukan (reorder poin)

$$r = (A / \text{hari kerja/ tahun}) \cdot LT$$

$$r = (4 \text{ unit}/720) \cdot 3 \text{ hari}$$

$$r = 1 \text{ unit}$$
Pemesan dilakukan ketika sisa persediaan yang ada digudang tinggal 1 unit lagi.

B. Paring Disc, Pn 528537-02

1. Tentukan biaya pemeliharaan cakram pasangan (nomor referensi 528537-02) setiap tahun. Biaya penyimpanan meliputi fasilitas penyimpanan, pajak dan asuransi, pemindahan sebesar 12% dan pencatatan bunga atas modal yang diinvestasikan dan penyusutan sebesar 4%. Besarnya biaya penyimpanan cakram pemotong, Pn 528537-02 adalah $16\% \times \text{Rp } 4.000.000 = \text{Rp } 640.000$.
2. Ongkos pemesan untuk setiap spare part : Rp. 62.000,-
3. Jumlah permintaan pertahun (A) 2 unit
Berdasarkan biaya tersebut maka besarnya pemesanan untuk Paring Disc, Pn 528537-02 dalam dua tahun :

$$Q^* = \sqrt{\frac{(2 \cdot AP)}{C}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{(2 \cdot (2)(\text{Rp}.62.000))}{(\text{Rp}.640.000)}}$$

$$Q^* = \sqrt{0,3875}$$

$$Q^* = 0,6224 = 1 \text{ unit/pesan}$$
Pemesan kembali dilakukan (reorder poin)

$$r = (A / \text{hari kerja/ tahun}) \cdot LT$$

$$r = (4 \text{ unit}/720) \cdot 3 \text{ hari}$$

$$r = 1 \text{ unit}$$
Pemesan dilakukan ketika sisa persediaan yang ada digudang tinggal 1 unit lagi.

C. Komponen Friction Pad & Screw 76282 Lbg 4

1. Carilah biaya penyimpanan bantalan gesek dan sekrup, £76.282,4 per tahun. Biaya penyimpanan meliputi fasilitas penyimpanan, pajak, asuransi, pengalihan bunga atas modal yang diinvestasikan, penyusutan, dll. Biaya penyimpanan Bantalan Gesekan dan Sekrup 76282 Lbg adalah $18\% \times \text{Rp } 2.840.000 = \text{Rp } 81.760$.

2. Ongkos pemesan untuk setiap spare part : Rp. 62.000,-
3. Jumlah permintaan pertahun (A) 2 unit
Berdasarkan biaya tersebut maka besarnya pemesanan untuk Friction Pad & Screw 76282 Lbg dalam dua tahun :
 $Q^* = \sqrt{(2 \cdot AP) / C}$
 $Q^* = \sqrt{(2 \cdot (2) \cdot (Rp.62.000)) / (Rp.511.200)}$
 $Q^* = \sqrt{6,0665}$
 $Q^* = 2,4630 = 3 \text{ unit/pesan}$
Pemesan kembali dilakukan (reorder poin)
 $r = (A / \text{hari kerja/ tahun}) \cdot LT$
 $r = (4 \text{ unit} / 720) \cdot 3 \text{ hari}$
 $r = 1 \text{ unit}$
Pemesan dilakukan ketika sisa persediaan yang ada digudang tinggal 1 unit lagi.

D. Komponen Nozzle Q 1,60 mm, Pn 534149.83

1. Nosel Q 1,60 mm tahunan, PN 534149.83 akan ditentukan. Biaya penyimpanan meliputi pergudangan, pajak, asuransi, pengalihan bunga atas modal yang diinvestasikan, dan penyusutan. Biaya penyimpanan nosel 1,60 mm, Pn 534149.83 adalah $16\% \times 4.640.000 = 742.000$.
2. Ongkos pemesan untuk setiap spare part : Rp. 62.000,-
3. Jumlah permintaan pertahun (A) 2 unit
Berdasarkan biaya tersebut maka besarnya pemesanan untuk Nozzle Q 1,60 mm, Pn 534149.83 dalam dua tahun :
 $Q^* = \sqrt{(2 \cdot AP) / C}$
 $Q^* = \sqrt{(2 \cdot (2) \cdot (Rp.62.000)) / (Rp.742.000)}$
 $Q^* = \sqrt{0,3340}$
 $Q^* = 0,5779 = 1 \text{ unit/pesan}$
Pemesan kembali dilakukan (reorder poin)
 $r = (A / \text{hari kerja/ tahun}) \cdot LT$
 $r = (4 \text{ unit} / 720) \cdot 3 \text{ hari}$
 $r = 1 \text{ unit}$
Pemesan dilakukan ketika sisa persediaan yang ada digudang tinggal 1 unit lagi.

Tabel 9. PERSEDIAAN SELAMA LEAD TIME UNTUK PEMESANAN KEMBALI

No	Nama Spare Part	Jumlah Kebutuhan Barang/ tahun (Unit)	Harga/ unit (Rp)	Biaya Simpan (18%*Harga/unit (Rp)	Ongkos Pemesan /pesanan (Rp)	Q* (Unit)	r unit
1	Bowl Spindle Pn,67347-00	2	6.000.000	960.000	62.000	1	1
2	Paring Disc, Pn 528537-02	2	4.000.000	640.000	62.000	1	1

Untuk pemesan kembali (r) ditentukan berdasarkan lama lead time. Dalam hal ini *lead time* untuk pemesanan selama 3 hari.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan, maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis keandalan dengan menggunakan konsep rata-rata, semua nilai rata-rata ukuran keandalan memiliki nilai yang terus menurun seiring berjalannya waktu. Penurunan keandalan mengindikasikan bahwa mesin akan mengalami kerusakan di kemudian hari. Oleh karena itu, perlu dikembangkan nilai keyakinan untuk interval waktu pasokan dan kerusakan yang akan memenuhi kebutuhan kelompok suku cadang A pada saat terjadi kerusakan, yang memberikan parameter distribusi *Weibull*. Untuk spindel mangkuk, diperoleh nilai parameter Pn 67347-00: = 3,2838 (parameter geometri), = 15,5905 (parameter skala/umur); nilai parameter cakram pembersih Pn 528537-02: = 2,6546 = 96,2944; Nilai parameter lapisan gesek dan sekrup 76282 Lbg 4: = 1,5576 81,5797; nilai Q nosel 1,60 mm Pn 534149,83 2,0970 = 183,7176.
2. Dari komponen kritis yang ditentukan dengan metode Weibull dan nilai fungsi rasio kerusakan metode

keandalan, dapat ditentukan inventaris komponen kritis selama dua tahun, yaitu untuk spindel mangkuk Pn 67347-00 sebanyak 3 unit, untuk cakram pembersih Pn 528537 -02 sebanyak 2 unit, untuk bantalan gesek dan sekrup 76282 Lbg 4-4 unit, untuk nilai Q nosel 1,60 mm Pn 534149,83 sebanyak 3 unit per tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbar, M. (2016). “ Analisis Kegiatan Maintenance Pada Mesin Sludge Separator Untuk Mengoptimalkan Part Kritis Dengan Pendekatan Realibility.
- [2] Angellia, L.D., (2006). “Analisis Maintenance task pada Deaeration di Unit Utility Kaltim dengan metode Reliability Centered Maintenance (RCM)”, Laporan Keja Praktek. Teknik Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta Indonesia.
- [3] Anggono, W., (2005). “Preventive Maintenance System dengan Modularity Design Sebagai Solusi Penurunan Biaya Maintenance”. Surabaya.
- [4] Assauri S., (1993). “Manajemen Produksi”. LPFE, Universitas Indonesia, Edisi ke IV, Jakarta,
- [5] Centered Maintenance (RCM)”, Tugas Akhir. Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [6] Corder, A. dan Hadi, K., (1992). “Teknik Manajemen Pemeliharaan”. Penerbit Erlangga, Jakarta,
- [7] Gaspersz, V. (2004). “Total Quality Management”. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [8] Govil, A.K., (1993). “Realibility Engineering”. Mc. Graw Hill Publising Co. New Delhi, India.
- [9] Kartika, S.W., (2010). “Perhitungan Realibility Untuk Penjadwalan Predictive Maintenance Serta Biaya Perawatan Mesin Kritis Oil Shipping Dump”. Tugas Akhir Sarjana, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- [10] Prasetyowati, A.F., (2009). “Analisis Umur dan Biaya Maintenance Mesin Pembangkit Pada Perusahaan Jasa”. Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
- [11] Prabowo, H.A., (2004). “Modul Maintenance Management”. Jakarta.
- [12] Richard, E.K., (1983). “Improving Productivity And Effectiviness”. Prentice Hall, Inc New Jersey,
- [13] Siregar, R., (2008). “Menentukan Keandalan Pada Model Strenggh-Strenggh pada suatu Komponen”. Fakultas MIPA Jurusan Matematika., USU. Jurnal Internet.
- [14] Surjadi, P.A., (1983). “Pendahuluan Teori Kemungkinan & Stistika”, Penerbit ITB, Bandung
- [15] Suharto, (1991). “Manajemen Perawatan Mesin”, Penerbit PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- [16] Utami, D.S., (2002). “Penerapan Analisis Keandalan Dalam Penentuan Interval Perawatan Mesin Produksi Untuk Meningkatkan Availibilitynya di PT Wapin Duta Jaya”. Tugas Akhir. Teknik Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta Indonesia.
- [17] Walpole, R.E., (1978). “Probability and Statiscsfor Engineering & Scientists”. Macmillan Publishing Co, New York,
- [18] Widiarto, H., (2009). “Usulan Waktu Perawatan Pencegahan Komponen Kritis Pada Mesin Kompresor Pendingin Dengan Pendekatan RCM”. Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
- [19] Sianturi and A. F. H. Imaduddin, “Usulan Penjadwalan Pergantian Komponen Pada Mesin Filling Multiline Menggunakan Model Age Replacement Dan Block Replacement Di Pt Ikafood Putramas,” Ina. J. Ind. Qual. Eng., vol. 7, no. 1, pp. 19–29, 2019, doi: 10.34010/iqe.v7i1.1735.
- [20] Mobley R K, Introduction to Predictive Maintenance, Second Edi. USA, 2002.