



USULAN PENGENDALIAN PERSEDIAAN KOMPONEN KRITIS MESIN *MILLING* BERDASARKAN PENGANTIAN PREVENTIF (STUDI KASUS PT DAYA INOVASI MANDIRI)

Zalfa Annisa Salsabiil ¹

¹ Program Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional

E-mail: zalfannisa21@gmail.com^{1*}

ABSTRACT

PT Daya Inovasi Mandiri is a hydroelectric power plant (PLTA) turbine component manufacturing company that still implements corrective maintenance, resulting in milling machine damage causing downtime, increased maintenance costs, and production disruptions. This study aims to determine the preventive replacement interval using the age replacement method as a basis for controlling critical spare parts inventory using the joint replenishment model. The results show that the optimal replacement interval is 75 days for v-belts, 91 days for pulleys, 183 days for spindle bearings, 175 days for thrust bearings, and 147 days for gear shafts. Inventory control produces a basic cycle of 0.685 years with inventory levels of 3, 3, 1, 1, and 1 unit, respectively, and safety stock of 2, 3, 1, 1, and 1 unit. The proposed policy results in a total combined inventory cost of Rp14,014,474.04, lower than the company's policy of Rp15,722,741.67. Thus, a savings of Rp1,708,267.63 or 10.86% is obtained. These results indicate that the implementation of age replacement and joint replenishment can increase cost efficiency while ensuring the availability of critical spare parts.

Keywords: *Age Replacement, Joint Replenishment, inventory Control, Critical Spare Parts, Preventive Maintenance*

ABSTRAK

PT Daya Inovasi Mandiri merupakan perusahaan manufaktur komponen turbin PLTA yang masih menerapkan *corrective maintenance*, sehingga kerusakan mesin *milling* menyebabkan downtime, peningkatan biaya perawatan dan gangguan produksi. Penelitian ini bertujuan menentukan interval penggantian pencegahan dengan metode *age replacement* sebagai dasar pengendalian persediaan suku cadang kritis menggunakan model joint replenishment. Hasil penelitian menunjukkan interval penggantian optimal sebesar 75 hari untuk v-belt, 91 hari untuk pulley, 183 hari untuk spindle bearing, 175 hari untuk thrust bearing dan 147 hari untuk gear shaft. Pengendalian persediaan menghasilkan *basic cycle* sebesar 0,685 tahun dengan *inventory level* masing-masing 3, 3, 1, 1 dan 1 unit serta *safety stock* sebesar 2, 3, 1, 1 dan 1 unit. Usulan kebijakan menghasilkan total ongkos persediaan gabungan sebesar Rp14.014.474,04, lebih rendah

Article History

Received: Juni 2026

Reviewed: Juni 2026

Published: Juni 2026

Plagiarism Checker No

Copyright : Author

Publish by :



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



dibandingkan kebijakan perusahaan sebesar Rp15.722.741,67. Dengan demikian, diperoleh penghematan sebesar Rp1.708.267,63 atau 10,86%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan *age replacement* dan *joint replenishment* dapat meningkatkan efisiensi biaya sekaligus menjamin ketersediaan suku cadang kritis.

Kata Kunci: *Age Replacement, Joint Replenishment, Pengendalian Persediaan, Suku Cadang Kritis, Preventive Maintenance*

1. PENDAHULUAN

Kelancaran proses produksi merupakan salah satu tujuan utama yang ingin dicapai oleh perusahaan untuk memastikan keuntungan yang maksimal sekaligus meningkatkan kualitas pelayanan terhadap konsumen. Setiap gangguan yang terjadi dalam kegiatan produksi akan berdampak negatif bagi perusahaan karena dapat menyebabkan penurunan efisiensi, keterlambatan, bahkan kerugian finansial. Gangguan tersebut umumnya disebabkan oleh tiga faktor utama, yaitu faktor manusia, mesin dan lingkungan. Di antara ketiganya, faktor yang paling berpengaruh terhadap kelancaran proses produksi adalah kinerja (*performance*) serta ketersediaan (*availability*) mesin yang digunakan. Untuk menjaga agar mesin produksi selalu berada dalam kondisi optimal, perusahaan perlu melakukan kegiatan perawatan secara terencana. Salah satu aspek penting yang sangat mempengaruhi efektivitas kegiatan perawatan adalah ketersediaan suku cadang. Saat mesin mengalami kerusakan, waktu perbaikan akan jauh lebih singkat apabila seluruh suku cadang yang dibutuhkan telah tersedia. Oleh karena itu, sistem manajemen persediaan suku cadang yang baik berperan besar dalam mendukung kegiatan perawatan karena dapat menekan biaya perawatan, mengurangi kebutuhan tenaga kerja tambahan, meminimalkan *downtime* mesin, serta pada akhirnya meningkatkan produktivitas perusahaan secara keseluruhan (Dhillon, 2002).

PT Daya Inovasi Mandiri (DIM) merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak dalam produksi komponen-komponen turbin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Proses produksinya menggunakan berbagai mesin konvensional seperti mesin bubut, milling, las listrik, bor duduk dan gerinda yang seluruhnya memerlukan pemeliharaan rutin agar tetap berfungsi optimal. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, hingga saat ini PT Daya Inovasi Mandiri belum menerapkan sistem perawatan secara terencana. Kegiatan perawatan yang dilakukan masih terbatas pada *corrective maintenance*, yaitu perawatan yang dilakukan ketika mesin mengalami kerusakan atau tidak dapat beroperasi (*breakdown*). Setelah kerusakan



teridentifikasi, perusahaan akan menghubungi teknisi untuk melakukan pemeriksaan dan perbaikan, kemudian komponen yang mengalami kerusakan akan diperbaiki atau diganti apabila sudah tidak dapat digunakan kembali.

Berdasarkan data historis kerusakan dan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, mesin *milling* dipilih sebagai objek penelitian karena mesin tersebut merupakan mesin yang telah digunakan dalam waktu yang lama serta memiliki intensitas penggunaan yang tinggi dalam proses pemesinan komponen turbin. Kondisi tersebut menyebabkan mesin *milling* lebih sering mengalami kerusakan dibandingkan mesin lainnya. Kerusakan mesin *milling* yang muncul secara tiba-tiba dan sulit diprediksi menyebabkan proses produksi terhenti selama 1-3 hari. Lamanya *downtime* tersebut tidak hanya disebabkan oleh waktu pengadaan komponen pengganti, tetapi juga karena perusahaan harus menunggu kedatangan teknisi yang melakukan proses perbaikan. Kondisi tersebut mengakibatkan aktivitas produksi tertunda sehingga perusahaan mengalami kehilangan kesempatan penjualan dan harus menanggung biaya perawatan yang lebih tinggi. Semakin besar biaya perawatan yang dikeluarkan oleh perusahaan, semakin kecil pula keuntungan yang diperoleh.

Di sisi lain, kerusakan mesin sering tidak bisa segera ditangani karena perusahaan tidak memiliki persediaan komponen pengganti yang memadai. Hal ini disebabkan oleh kebiasaan perusahaan menyediakan suku cadang hanya berdasarkan perkiraan tanpa memperhitungkan laju kerusakan komponen. Akibatnya, perusahaan seringkali mengalami kekurangan stok suku cadang mesin. Kekurangan stok tersebut menyebabkan *downtime* yang merugikan karena proses produksi menjadi terhenti hingga komponen pengganti tersedia. Selain mengalami kekurangan stok, perusahaan juga memiliki karakteristik persediaan di mana beberapa komponen mesin *milling* berasal dari pemasok yang sama. Namun, selama ini pemesanan masih dilakukan secara terpisah sesuai kebutuhan masing-masing komponen, sehingga frekuensi pemesanan menjadi lebih sering dan biaya pemesanan yang dikeluarkan perusahaan menjadi lebih besar. Oleh karena itu, diperlukan sistem perawatan pencegahan yang mampu meminimasi total biaya perawatan serta perbaikan dalam sistem pengendalian persediaan untuk memastikan ketersediaan suku cadang berada pada tingkat yang ideal sehingga kegiatan perawatan mesin dapat berjalan dengan efektif.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan secara sistematis melalui tahapan identifikasi masalah, studi literatur, pemilihan metode, pengumpulan data, pengolahan data, analisis, serta penyusunan

kesimpulan dan saran. Permasalahan utama di PT Daya Inovasi Mandiri adalah penerapan *corrective maintenance* dan pengendalian persediaan suku cadang yang belum terencana. Berdasarkan karakteristik permasalahan, metode *age replacement* dipilih untuk menentukan interval penggantian pencegahan, sedangkan *periodic review* dengan *joint replenishment* digunakan untuk mengendalikan persediaan komponen secara berkala dan terpadu. Data penelitian diperoleh melalui wawancara, observasi dan dokumentasi perusahaan, meliputi data waktu antar kerusakan, pengujian kesamaan empat mesin menggunakan ANOVA, identifikasi komponen kritis, waktu perawatan, ongkos perawatan, serta ongkos persediaan. Tahap pengolahan data meliputi uji kecocokan distribusi Weibull, penentuan parameter skala (α) dan bentuk (β), formulasi fungsi keandalan, penentuan interval dan penjadwalan penggantian pencegahan, penentuan kebutuhan komponen, uji distribusi normal menggunakan *Kolmogorov-Smirnov*, serta perhitungan *basic cycle*, interval pemesanan, *inventory level*, *safety stock* dan total ongkos persediaan melalui *joint replenishment*. Hasil pengolahan selanjutnya dianalisis melalui diagram Pareto, pola distribusi kerusakan, perbandingan ongkos perawatan, interval penggantian pencegahan dan efektivitas pengendalian persediaan, sebagai dasar penyusunan usulan perbaikan sistem perawatan dan persediaan di PT Daya Inovasi Mandiri.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data

A. Spesifikasi Mesin *Milling*

PT DIM memiliki empat mesin *milling* dengan tipe dan performansi yang sama. Mesin tertua dibeli pada tahun 2015 dan telah berusia 10 tahun. Seluruh mesin beroperasi selama 5 hari per minggu dengan waktu kerja 7 jam per hari.

Gambar 1. Mesin *Milling* PT Daya Inovasi Mandiri





B. Data Waktu Antar Kerusakan Mesin

Data historis kerusakan komponen mesin *milling* diperoleh dari manajer PT DIM, dengan periode pengamatan Oktober 2022 hingga November 2025. Dari berbagai komponen yang terdapat pada mesin, hanya beberapa komponen yang tercatat mengalami kerusakan pada masing-masing mesin.

Tabel 1: Data Kerusakan Komponen Mesin pada Tahun 2022-2025

No.	Mesin Milling	Tanggal	Komponen
1	Mesin 1	07/10/2022	V-Belt
2	Mesin 1	19/11/2022	Spindle Bearing
3	Mesin 1	04/12/2022	Pulley
4	Mesin 1	22/01/2023	V-Belt
5	Mesin 1	15/03/2023	Arbor
6	Mesin 1	02/04/2023	Spindle Bearing
7	Mesin 1	18/05/2023	V-Belt
8	Mesin 1	27/05/2023	Thrust Bearing
9	Mesin 1	11/06/2023	Pulley
10	Mesin 1	12/08/2023	V-Belt
11	Mesin 1	29/10/2023	Spindle Bearing
12	Mesin 1	14/11/2023	V-Belt
13	Mesin 1	22/12/2023	Gear Shaft
14	Mesin 1	01/01/2024	Pulley
15	Mesin 1	14/02/2024	Pulley
16	Mesin 1	05/03/2024	Gear Shaft
17	Mesin 1	11/04/2024	V-Belt
18	Mesin 1	25/06/2024	Spindle Bearing
19	Mesin 1	03/07/2024	Arbor
20	Mesin 1	19/08/2024	V-Belt
21	Mesin 1	02/10/2024	Thrust Bearing
22	Mesin 1	11/12/2024	Spindle Bearing
23	Mesin 1	27/02/2025	Gear Shaft
24	Mesin 1	08/04/2025	V-Belt
25	Mesin 1	21/06/2025	Pulley
26	Mesin 1	04/08/2025	Spindle Bearing
27	Mesin 1	18/09/2025	Pulley
28	Mesin 1	09/11/2025	Lead Screw
29	Mesin 2	12/10/2022	V-Belt
30	Mesin 2	17/11/2022	Pulley
31	Mesin 2	09/12/2022	Spindle Bearing
32	Mesin 2	04/01/2023	V-Belt
33	Mesin 2	26/03/2023	Spindle Bearing
34	Mesin 2	29/03/2023	Arbor
35	Mesin 2	16/04/2023	Gear Shaft
36	Mesin 2	27/05/2023	V-Belt
37	Mesin 2	30/06/2023	Thrust Bearing
38	Mesin 2	09/08/2023	Pulley
39	Mesin 2	26/08/2023	Pulley
40	Mesin 2	30/09/2023	V-Belt
41	Mesin 2	12/11/2023	Gear Shaft
42	Mesin 2	29/11/2023	Thrust Bearing
43	Mesin 2	15/01/2024	V-Belt
44	Mesin 2	22/02/2024	Pulley
45	Mesin 2	05/03/2024	Gear Shaft
46	Mesin 2	29/03/2024	V-Belt
47	Mesin 2	03/05/2024	Spindle Bearing
48	Mesin 2	09/07/2024	Pulley
49	Mesin 2	18/08/2024	V-Belt
50	Mesin 2	04/10/2024	Thrust Bearing
51	Mesin 2	23/11/2024	Pulley
52	Mesin 2	30/01/2025	Gear Shaft
53	Mesin 2	15/02/2025	V-Belt
54	Mesin 2	19/04/2025	Pulley
55	Mesin 2	02/05/2025	Spindle Bearing
56	Mesin 2	12/07/2025	V-Belt
57	Mesin 2	29/08/2025	Thrust Bearing
58	Mesin 2	11/09/2025	Pulley



59	Mesin 2	18/10/2025	Spindle Bearing
60	Mesin 2	27/11/2025	Lead Screw
61	Mesin 3	03/10/2022	V-Belt
62	Mesin 3	18/10/2022	V-Belt
63	Mesin 3	02/12/2022	Spindle Bearing
64	Mesin 3	10/01/2023	Pulley
65	Mesin 3	06/02/2023	Arbor
66	Mesin 3	21/02/2023	Spindle Bearing
67	Mesin 3	15/03/2023	V-Belt
68	Mesin 3	25/04/2023	Pulley
69	Mesin 3	11/05/2023	Thrust Bearing
70	Mesin 3	19/06/2023	Spindle Bearing
71	Mesin 3	30/06/2023	V-Belt
72	Mesin 3	09/08/2023	Gear Shaft
73	Mesin 3	28/08/2023	Spindle Bearing
74	Mesin 3	02/10/2023	V-Belt
75	Mesin 3	12/10/2023	Pulley
76	Mesin 3	30/11/2023	Gear Shaft
77	Mesin 3	14/01/2024	V-Belt
78	Mesin 3	03/03/2024	Spindle Bearing
79	Mesin 3	10/05/2024	Pulley
80	Mesin 3	28/06/2024	V-Belt
81	Mesin 3	06/08/2024	Thrust Bearing
82	Mesin 3	29/09/2024	Spindle Bearing
83	Mesin 3	08/11/2024	Gear Shaft
84	Mesin 3	23/01/2025	V-Belt
85	Mesin 3	02/02/2025	Pulley
86	Mesin 3	18/03/2025	Spindle Bearing
87	Mesin 3	01/06/2025	Gear Shaft
88	Mesin 3	15/08/2025	Pulley
89	Mesin 3	17/11/2025	Spindle Bearing

90	Mesin 4	21/10/2022	Pulley
91	Mesin 4	04/11/2022	Pulley
92	Mesin 4	28/12/2022	Thrust Bearing
93	Mesin 4	07/02/2023	V-Belt
94	Mesin 4	03/03/2023	Thrust Bearing
95	Mesin 4	17/05/2023	Pulley
96	Mesin 4	05/06/2023	Spindle Bearing
97	Mesin 4	14/07/2023	V-Belt
98	Mesin 4	15/08/2023	Thrust Bearing
99	Mesin 4	31/08/2023	Pulley
100	Mesin 4	21/09/2023	Spindle Bearing
101	Mesin 4	14/11/2023	V-Belt
102	Mesin 4	14/12/2023	Gear Shaft
103	Mesin 4	12/02/2024	Spindle Bearing
104	Mesin 4	11/03/2024	V-Belt
105	Mesin 4	18/05/2024	Pulley
106	Mesin 4	17/06/2024	Gear Shaft
107	Mesin 4	12/08/2024	V-Belt
108	Mesin 4	03/10/2024	Spindle Bearing
109	Mesin 4	29/10/2024	Pulley
110	Mesin 4	28/11/2024	V-Belt
111	Mesin 4	06/01/2025	Thrust Bearing
112	Mesin 4	18/02/2025	Spindle Bearing
113	Mesin 4	26/02/2025	Gear Shaft
114	Mesin 4	10/04/2025	Arbor
115	Mesin 4	18/05/2025	Pulley
116	Mesin 4	04/07/2025	Spindle Bearing
117	Mesin 4	21/08/2025	Arbor
118	Mesin 4	06/10/2025	Lead Screw
119	Mesin 4	28/11/2025	V-Belt

Berdasarkan data historis kerusakan mesin *milling* periode Oktober 2022-November 2025, kerusakan hanya terjadi pada beberapa komponen, yaitu *V-Belt*, *Pulley*, *Spindle Bearing*, *Thrust Bearing*, *Gear Shaft*, *Arbor* dan *Lead Screw*.

C. Data Waktu Perawatan Komponen

Data waktu perawatan komponen terdiri dari dua bagian, yaitu data waktu penggantian pencegahan dan data waktu perbaikan kerusakan yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2: Data Waktu Penggantian Pencegahan dan Perbaikan

Nama Komponen	Waktu Penggantian Komponen (Jam)	Waktu Penggantian (Hari)	Waktu Menunggu (Hari)	Total Waktu Perbaikan (Hari)
<i>V-Belt</i>	2	0,286	1	1,286
<i>Pulley</i>	2	0,286	1	1,286
<i>Spindle Bearing</i>	5	0,714	1	1,714
<i>Thrust Bearing</i>	5	0,714	1	1,714
<i>Gear Shaft</i>	4,5	0,643	1	1,643
<i>Arbor</i>	4	0,571	1	1,571
<i>Lead Screw</i>	3	0,429	1	1,429

Berdasarkan tabel, waktu penggantian pencegahan berkisar antara 0,286-0,714 hari, sedangkan total waktu perbaikan kerusakan berkisar antara 1,286-1,714 hari karena adanya waktu tunggu selama 1 hari. Dengan demikian, penggantian pencegahan membutuhkan waktu lebih singkat dibandingkan perbaikan setelah terjadi kerusakan, sehingga penerapan *preventive maintenance* dapat mengurangi *downtime* dan mendukung kelancaran proses produksi.

D. Data Ongkos Perawatan Komponen

Data ongkos perawatan komponen digunakan untuk menentukan biaya yang timbul selama penggantian maupun perbaikan komponen mesin *milling*. Ongkos tersebut meliputi biaya pembelian komponen, biaya tenaga teknisi, serta keuntungan yang hilang akibat terhentinya proses produksi. Data biaya pembelian masing-masing komponen mesin *milling* ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 3: Rekapitulasi Biaya Pembelian Komponen Mesin *Milling*

No.	Komponen	Harga/pcs (Rp)	Kebutuhan	Total Biaya (Rp)
1	<i>V-Belt</i>	110.000	3	330.000
2	<i>Pulley</i>	150.000	2	300.000
3	<i>Spindle Bearing</i>	400.000	1	400.000
4	<i>Thrust Bearing</i>	375.000	1	375.000
5	<i>Gear Shaft</i>	200.000	1	200.000
6	<i>Arbor</i>	350.000	1	350.000
7	<i>Lead Screw</i>	300.000	1	300.000
Total			10	2.255.000

Selain biaya pembelian komponen, perusahaan juga menanggung biaya teknisi sebesar Rp190.000 per orang per hari. Selanjutnya, untuk menghitung keuntungan yang hilang akibat *downtime*, diperlukan data produksi, harga jual produk dan biaya bahan baku. Hasil perhitungan pendapatan dan keuntungan perusahaan dari produk *baut flange* dan *stud bolt* disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4: Rekapitulasi Pendapatan dan Keuntungan Perusahaan

No.	Jenis Produk	Total Produksi	Pendapatan (Rp)	Ongkos Bahan Baku (Rp)	Keuntungan/Hari (Rp)
1	Baut Flange	2.715	1.181.025.000	477.840.000	735.243
2	Stud Bolt	2.299	2.758.800.000	1.213.872.000	1.842.800
Total		5.014	3.939.825.000	1.691.712.000	2.578.043

Berdasarkan hasil perhitungan, total biaya pembelian komponen mencapai Rp2.255.000, sedangkan keuntungan perusahaan rata-rata sebesar Rp2.578.043 per hari. Nilai keuntungan tersebut menunjukkan bahwa setiap terjadinya *downtime* akibat kerusakan mesin dapat menimbulkan kehilangan keuntungan yang cukup besar. Oleh karena itu, data biaya komponen, teknisi dan keuntungan hilang menjadi dasar dalam menentukan ongkos penggantian pencegahan (C_p) dan ongkos perbaikan kerusakan (C_f) pada analisis *age replacement*.

E. Data Ongkos Pengendalian Persediaan Komponen

Data ongkos pengendalian persediaan komponen meliputi ongkos pemesanan, ongkos simpan, *lead time* dan tingkat layanan. Ongkos pemesanan terdiri dari biaya administrasi Rp15.000, telekomunikasi Rp10.000 dan pengantaran Rp45.000, sehingga totalnya sebesar Rp70.000 per pesan. Ongkos simpan dihitung berdasarkan harga komponen dan suku bunga tahunan sebesar 4,75%, sedangkan *lead time* pemesanan komponen adalah 1 hari. Adapun tingkat layanan yang ditetapkan PT DIM berdasarkan hasil wawancara dengan manajer adalah 95%. Rincian biaya simpan masing-masing komponen disajikan pada tabel di atas.

Tabel 5. Biaya Simpan Komponen Mesin *Milling*

No.	Komponen	Biaya Simpan/Pcs/Tahun (Rp)
1	V-Belt	5.225
2	Pulley	7.125
3	Spindle Bearing	19.000
4	Thrust Bearing	17.813
5	Gear Shaft	9.500
6	Arbor	16.625
7	Lead Screw	14.250

Data tersebut menunjukkan bahwa PT DIM memiliki ongkos pemesanan sebesar Rp70.000 per pesan, *lead time* 1 hari dan tingkat layanan 95%. Biaya simpan masing-masing komponen bervariasi, dengan nilai tertinggi pada *spindle bearing* sebesar Rp19.000 per unit per tahun dan terendah pada *V-Belt* sebesar Rp5.225. Seluruh data ini digunakan sebagai parameter dalam perhitungan pengendalian persediaan.

F. Data Ongkos Berdasarkan Kebijakan Perusahaan

Selama ini, PT. DIM belum memiliki kebijakan mengenai persediaan komponen mesin. Perusahaan akan memesan komponen berdasarkan intuisi dan pemesanan komponen dilakukan hanya jika mesin mengalami kerusakan. Berikut ini merupakan data total ongkos persediaan berdasarkan kebijakan perusahaan yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 6: Data Total Ongkos Persediaan Kebijakan Perusahaan

Nama Komponen	Frekuensi Kerusakan	Ongkos Beli (Rp)	Ongkos Pesan (Rp)	Ongkos Simpan (Rp)	Ongkos Total (Rp)
<i>V-Belt</i>	32	10.560.000	2.240.000	501.600	13.301.600
<i>Pulley</i>	26	9.780.000	1.820.000	555.750	10.175.750
<i>Spindle Bearing</i>	27	10.800.000	1.890.000	1.539.000	14.229.000
<i>Thrust Bearing</i>	10	3.750.000	700.000	534.375	4.984.375
<i>Gear Shaft</i>	15	3.000.000	1.050.000	427.500	4.477.500
Total					47.168.225
Rata-Rata Total (1 Tahun)					15.722.742

Berdasarkan kebijakan perusahaan saat ini, total ongkos persediaan lima komponen kritis selama satu tahun sebesar Rp47.168.225, dengan rata-rata ongkos persediaan sebesar Rp15.722.742 per tahun. Ongkos total terbesar terdapat pada *spindle bearing* sebesar Rp14.229.000, sedangkan yang terendah pada *gear shaft* sebesar Rp4.477.500. Nilai tersebut selanjutnya menjadi acuan pembandingan untuk mengevaluasi efisiensi usulan pengendalian persediaan menggunakan metode *joint replenishment*.

3.2 Pengolahan Data

A. Perhitungan Selang Waktu Terjadinya Kerusakan Komponen Mesin Milling

Perhitungan selang waktu terjadinya kerusakan komponen mesin milling 1 hingga mesin milling 4 dari bulan Oktober 2022 hingga November 2025 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 7: Selang Waktu Terjadinya Kerusakan Komponen Mesin



No.	Mesin	Tanggal	Komponen	Interval (hari)
1	Mesin Milling 1	07/10/2022	V-Belt	-
2	Mesin Milling 1	19/11/2022	Spindle Bearing	31
3	Mesin Milling 1	04/12/2022	Pulley	10
4	Mesin Milling 1	22/01/2023	V-Belt	35
5	Mesin Milling 1	15/03/2023	Arbor	38
6	Mesin Milling 1	02/04/2023	Spindle Bearing	13
7	Mesin Milling 1	18/05/2023	V-Belt	34
8	Mesin Milling 1	27/05/2023	Thrust Bearing	7
9	Mesin Milling 1	11/06/2023	Pulley	10
10	Mesin Milling 1	12/08/2023	V-Belt	45
11	Mesin Milling 1	29/10/2023	Spindle Bearing	55
12	Mesin Milling 1	14/11/2023	V-Belt	12
13	Mesin Milling 1	22/12/2023	Gear Shaft	29
14	Mesin Milling 1	01/01/2024	Pulley	7
15	Mesin Milling 1	14/02/2024	Pulley	33
16	Mesin Milling 1	05/03/2024	Gear Shaft	15
17	Mesin Milling 1	11/04/2024	V-Belt	28
18	Mesin Milling 1	25/06/2024	Spindle Bearing	54
19	Mesin Milling 1	03/07/2024	Arbor	7
20	Mesin Milling 1	19/08/2024	V-Belt	34
21	Mesin Milling 1	02/10/2024	Thrust Bearing	33
22	Mesin Milling 1	11/12/2024	Spindle Bearing	51
23	Mesin Milling 1	27/02/2025	Gear Shaft	57
24	Mesin Milling 1	08/04/2025	V-Belt	29
25	Mesin Milling 1	21/06/2025	Pulley	54
26	Mesin Milling 1	04/08/2025	Spindle Bearing	31
27	Mesin Milling 1	18/09/2025	Pulley	34
28	Mesin Milling 1	09/11/2025	Lead Screw	37
29	Mesin Milling 2	12/10/2022	V-Belt	-
30	Mesin Milling 2	17/11/2022	Pulley	27
31	Mesin Milling 2	09/12/2022	Spindle Bearing	17

32	Mesin Milling 2	04/01/2023	V-Belt	19
33	Mesin Milling 2	26/03/2023	Spindle Bearing	58
34	Mesin Milling 2	29/03/2023	Arbor	3
35	Mesin Milling 2	16/04/2023	Gear Shaft	13
36	Mesin Milling 2	27/05/2023	V-Belt	30
37	Mesin Milling 2	30/06/2023	Thrust Bearing	25
38	Mesin Milling 2	09/08/2023	Pulley	29
39	Mesin Milling 2	26/08/2023	Pulley	13
40	Mesin Milling 2	30/09/2023	V-Belt	25
41	Mesin Milling 2	12/11/2023	Gear Shaft	30
42	Mesin Milling 2	29/11/2023	Thrust Bearing	13
43	Mesin Milling 2	15/01/2024	V-Belt	34
44	Mesin Milling 2	22/02/2024	Pulley	29
45	Mesin Milling 2	05/03/2024	Gear Shaft	9
46	Mesin Milling 2	29/03/2024	V-Belt	19
47	Mesin Milling 2	03/05/2024	Spindle Bearing	26
48	Mesin Milling 2	09/07/2024	Pulley	48
49	Mesin Milling 2	18/08/2024	V-Belt	29
50	Mesin Milling 2	04/10/2024	Thrust Bearing	35
51	Mesin Milling 2	23/11/2024	Pulley	36
52	Mesin Milling 2	30/01/2025	Gear Shaft	49
53	Mesin Milling 2	15/02/2025	V-Belt	12
54	Mesin Milling 2	19/04/2025	Pulley	45
55	Mesin Milling 2	02/05/2025	Spindle Bearing	10
56	Mesin Milling 2	12/07/2025	V-Belt	51
57	Mesin Milling 2	29/08/2025	Thrust Bearing	35
58	Mesin Milling 2	11/09/2025	Pulley	10
59	Mesin Milling 2	18/10/2025	Spindle Bearing	27
60	Mesin Milling 2	27/11/2025	Lead Screw	29
61	Mesin Milling 3	03/10/2022	V-Belt	-
62	Mesin Milling 3	18/10/2022	V-Belt	12
63	Mesin Milling 3	02/12/2022	Spindle Bearing	34



64	Mesin Milling 3	10/01/2023	<i>Pulley</i>	28
65	Mesin Milling 3	06/02/2023	<i>Arbor</i>	20
66	Mesin Milling 3	21/02/2023	<i>Spindle Bearing</i>	12
67	Mesin Milling 3	15/03/2023	<i>V-Belt</i>	17
68	Mesin Milling 3	25/04/2023	<i>Pulley</i>	30
69	Mesin Milling 3	11/05/2023	<i>Thrust Bearing</i>	13
70	Mesin Milling 3	19/06/2023	<i>Spindle Bearing</i>	28
71	Mesin Milling 3	30/06/2023	<i>V-Belt</i>	10
72	Mesin Milling 3	09/08/2023	<i>Gear Shaft</i>	29
73	Mesin Milling 3	28/08/2023	<i>Spindle Bearing</i>	14
74	Mesin Milling 3	02/10/2023	<i>V-Belt</i>	26
75	Mesin Milling 3	12/10/2023	<i>Pulley</i>	9
76	Mesin Milling 3	30/11/2023	<i>Gear Shaft</i>	36
77	Mesin Milling 3	14/01/2024	<i>V-Belt</i>	32
78	Mesin Milling 3	03/03/2024	<i>Spindle Bearing</i>	35
79	Mesin Milling 3	10/05/2024	<i>Pulley</i>	50
80	Mesin Milling 3	28/06/2024	<i>V-Belt</i>	36
81	Mesin Milling 3	06/08/2024	<i>Thrust Bearing</i>	28
82	Mesin Milling 3	29/09/2024	<i>Spindle Bearing</i>	39
83	Mesin Milling 3	08/11/2024	<i>Gear Shaft</i>	30
84	Mesin Milling 3	23/01/2025	<i>V-Belt</i>	55
85	Mesin Milling 3	02/02/2025	<i>Pulley</i>	7
86	Mesin Milling 3	18/03/2025	<i>Spindle Bearing</i>	32
87	Mesin Milling 3	01/06/2025	<i>Gear Shaft</i>	54
88	Mesin Milling 3	15/08/2025	<i>Pulley</i>	55
89	Mesin Milling 3	17/11/2025	<i>Spindle Bearing</i>	67
90	Mesin Milling 4	21/10/2022	<i>Pulley</i>	-
91	Mesin Milling 4	04/11/2022	<i>Pulley</i>	11

92	Mesin Milling 4	28/12/2022	<i>Thrust Bearing</i>	39
93	Mesin Milling 4	07/02/2023	<i>V-Belt</i>	30
94	Mesin Milling 4	03/03/2023	<i>Thrust Bearing</i>	19
95	Mesin Milling 4	17/05/2023	<i>Pulley</i>	54
96	Mesin Milling 4	05/06/2023	<i>Spindle Bearing</i>	14
97	Mesin Milling 4	14/07/2023	<i>V-Belt</i>	30
98	Mesin Milling 4	15/08/2023	<i>Thrust Bearing</i>	23
99	Mesin Milling 4	31/08/2023	<i>Pulley</i>	13
100	Mesin Milling 4	21/09/2023	<i>Spindle Bearing</i>	16
101	Mesin Milling 4	14/11/2023	<i>V-Belt</i>	39
102	Mesin Milling 4	14/12/2023	<i>Gear Shaft</i>	23
103	Mesin Milling 4	12/02/2024	<i>Spindle Bearing</i>	43
104	Mesin Milling 4	11/03/2024	<i>V-Belt</i>	21
105	Mesin Milling 4	18/05/2024	<i>Pulley</i>	50
106	Mesin Milling 4	17/06/2024	<i>Gear Shaft</i>	21
107	Mesin Milling 4	12/08/2024	<i>V-Belt</i>	41
108	Mesin Milling 4	03/10/2024	<i>Spindle Bearing</i>	39
109	Mesin Milling 4	29/10/2024	<i>Pulley</i>	19
110	Mesin Milling 4	28/11/2024	<i>V-Belt</i>	23
111	Mesin Milling 4	06/01/2025	<i>Thrust Bearing</i>	28
112	Mesin Milling 4	18/02/2025	<i>Spindle Bearing</i>	32
113	Mesin Milling 4	26/02/2025	<i>Gear Shaft</i>	7
114	Mesin Milling 4	10/04/2025	<i>Arbor</i>	32
115	Mesin Milling 4	18/05/2025	<i>Pulley</i>	27
116	Mesin Milling 4	04/07/2025	<i>Spindle Bearing</i>	35
117	Mesin Milling 4	21/08/2025	<i>Arbor</i>	35
118	Mesin Milling 4	06/10/2025	<i>Lead Screw</i>	33
119	Mesin Milling 4	28/11/2025	<i>V-Belt</i>	40

Berdasarkan tabel gabungan data kerusakan komponen Mesin Milling 1, 2, 3 dan 4 selama periode 2022-2025, dapat disimpulkan bahwa kerusakan komponen terjadi secara berulang



dengan interval waktu yang bervariasi pada setiap mesin. Komponen yang mengalami kerusakan meliputi *V-Belt*, *Pulley*, *Spindle Bearing*, *Thrust Bearing*, *Gear Shaft*, *Arbor* dan *Lead Screw*. Data tersebut menunjukkan bahwa *V-Belt*, *Pulley* dan *Spindle Bearing* merupakan komponen yang paling sering mengalami kerusakan, sehingga perlu mendapat perhatian lebih dalam kegiatan pemeliharaan dan pengendalian persediaan.

B. Pengujian Kesamaan Antar Mesin

Jumlah mesin milling PT DIM sebanyak empat unit dengan jenis dan performansi yang sama. Untuk memastikan data kerusakan antar mesin dapat saling mewakili, dilakukan uji kesamaan menggunakan ANOVA satu arah. Jika hasil pengujian menunjukkan tidak terdapat perbedaan rata-rata kerusakan atau H_0 diterima, maka mesin dengan jumlah kerusakan terbanyak dapat dipilih sebagai representasi mesin lainnya.

1. Dugaan awal : adanya perbedaan rata-rata waktu kerusakan komponen pada keempat mesin *milling*.
2. Parameter : kesamaan rata-rata
3. H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$
 H_1 : paling sedikit ada satu tanda “=” tidak berlaku.
4. Menentukan taraf signifikan
 α : 0,05

Tabel perhitungan uji ANOVA dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 8. Perhitungan Uji ANOVA

No.	m_1	m_2	m_3	m_4	m_1^2	m_2^2	m_3^2	m_4^2
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	31	27	12	11	961	729	144	121
3	10	17	34	39	100	289	1.156	1.521
4	35	19	28	30	1.225	361	784	900
5	38	58	20	19	1.444	3.364	400	361
6	13	31	25	41	169	961	625	1.681
7	34	13	17	14	1.156	169	289	196
8	7	30	30	30	49	900	900	900
9	10	25	13	23	100	625	169	529
10	45	29	28	13	2.025	841	784	169
11	55	13	10	16	3.025	169	100	256
12	12	25	29	39	144	625	841	1.521
13	29	30	14	23	841	900	196	529
14	7	13	26	34	49	169	676	1.156
15	33	34	9	21	1.089	1.156	81	441



16	15	29	36	50	225	841	1.296	2.500	
17	28	9	32	21	784	81	1.024	441	
18	54	19	35	41	2.916	361	1.225	1.681	
19	7	26	50	39	49	676	2.500	1.521	
20	34	48	36	19	1.156	2.304	1.296	361	
21	33	29	28	23	1.089	841	784	529	
22	51	35	39	28	2.601	1.225	1.521	784	
23	57	36	30	32	3.249	1.296	900	1.024	
24	29	49	55	78	841	2.401	3.025	6.084	
25	54	12	73	22	2.916	144	5.329	484	
26	31	45	32	27	961	2.025	1.024	729	
27	34	10	54	35	1.156	100	2.916	1.225	
28	37	51	55	35	1.369	2.601	3.025	1.225	
29	—	35	67	33	—	1225	4489	1089	
30	—	10	—	40	—	100	—	1600	
31	—	27	—	—	—	729	—	—	
32	—	29	—	—	—	841	—	—	
Jumlah	823	835	838	837	—	—	—	—	3333
n	28	32	29	30	—	—	—	—	119
Rata-rata	29	26	29	28	—	—	—	—	93546
Σm²	—	—	—	—	31.689	28.097	31.738	27.991	119515

Contoh perhitungan M1:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } (T_i) &= 0+31+10+35+38+\dots+37 \\ &= 823 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{T_i^2}{n} &= \frac{823^2}{28} \\ &= 24190 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{0+31+10+35+38+\dots+37}{28} = 29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= 28+32+29+30 \\ &= 119 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma m_1^2 &= 0^2 + 31^2 + 10^2 + 35^2 + 38^2 + \dots + 37^2 \\ &= 0+961+100+1225+1444+ \dots +1369 \\ &= 31689 \end{aligned}$$

Tabel 9: Perhitungan F Uji ANOVA

Sumber Variansi	Derajat Kebebasan (df)	Jumlah Kuadrat (JK)	Rataan Kuadrat (RK)	Fhitung	Ftabel (α = 5%)
Perlakuan	3	194,20	64,73	0,29	2,68
Galat	115	25.968,79	225,82	-	-
Jumlah	118	26.162,99	-	-	-



Contoh Perhitungan:

$$- \quad v_1 = k - 1 \\ = 4 - 1 = 3$$

$$- \quad v_2 = N - k \\ = 119 - 4 = 115$$

$$- \quad \text{Jumlah} = N - 1 \\ = 119 - 1 = 118$$

$$- \quad \text{JKT} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N} \\ = 119515 - \frac{3333^2}{119} \\ = 26162,99$$

$$- \quad \text{JKA} = \sum \frac{T_i^2}{n} - \frac{(\sum X)^2}{N} \\ = 93546 - \frac{3333^2}{119} \\ = 194,20$$

$$- \quad \text{JKG} = \text{JKT} - \text{JKA} \\ = 26162,99 - 194,20 \\ = 25968,79$$

$$- \quad S_1^2 = \text{JKA} / v_1 \\ = \frac{194,20}{3} \\ = 64,73$$

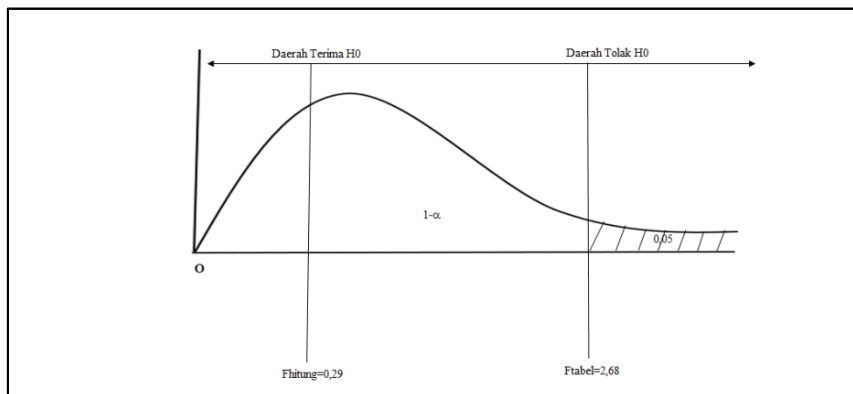
$$- \quad S_2^2 = \text{JKG} / v_2 \\ = \frac{25968,79}{115} \\ = 225,82$$

$$- \quad F_{\text{hitung}} = S_1^2 / S_2^2 \\ = \frac{64,73}{225,82} \\ = 0,29$$

$$- \quad F_{\text{tabel}} = 2,68$$

Kesimpulan: $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ sehingga H_0 dapat diterima karena rata-rata data selang waktu setiap mesin *milling* adalah sama. Grafik hasil perhitungan uji ANOVA dapat dilihat pada Gambar di bawah ini:

Gambar 2: Grafik Hasil Perhitungan Uji ANOVA



Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka data dari salah satu mesin *milling* dapat mewakili mesin *milling* lainnya. Mesin *milling* yang terpilih untuk dilakukan penelitian lebih lanjut adalah mesin *milling* 2 dikarenakan mesin tersebut memiliki jumlah kerusakan paling banyak. Jumlah kerusakan mesin *milling* 2 dari bulan Oktober 2022 hingga bulan November 2025 adalah sebanyak 32 kali.

C. Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan menggunakan diagram Pareto untuk mengidentifikasi komponen mesin *milling* yang memiliki frekuensi kerusakan dan biaya kerugian tertinggi. Komponen dengan kontribusi kumulatif hingga 80% dari total kerugian dikategorikan sebagai komponen kritis. Hasil perhitungan disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 10: Perhitungan Penentuan Komponen Kritis

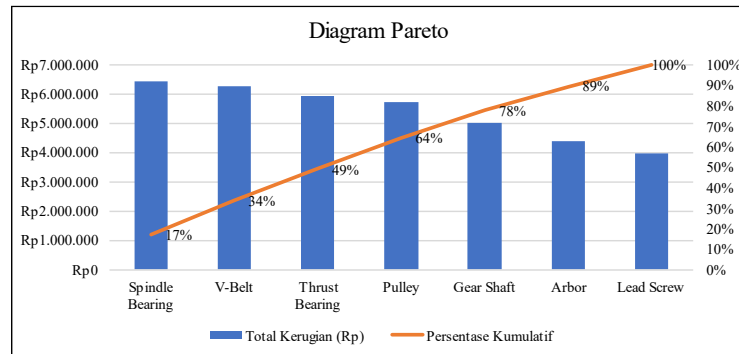
No.	Komponen	Biaya Pembelian Komponen (Rp)	Frekuensi Kerusakan	Total Biaya Pembelian (Rp)	Total Waktu Penggantian (Hari)	Keuntungan/Hari (Rp)	Keuntungan yang Hilang (Rp)	Total Kerugian (Rp)	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	Spindle Bearing	400.000	5	2.000.000	1,714	2.578.043	4.419.503	6.419.503	17%	17%
2	V-Belt	330.000	9	2.970.000	1,286	2.578.043	3.314.627	6.284.627	17%	34%
3	Thrust Bearing	375.000	4	1.500.000	1,714	2.578.043	4.419.503	5.919.503	16%	49%
4	Pulley	300.000	8	2.400.000	1,286	2.578.043	3.314.627	5.714.627	15%	64%
5	Gear Shaft	200.000	4	800.000	1,643	2.578.043	4.235.357	5.035.357	13%	78%
6	Arbor	350.000	1	350.000	1,571	2.578.043	4.051.211	4.401.211	12%	89%
7	Lead Screw	300.000	1	300.000	1,429	2.578.043	3.682.919	3.982.919	11%	100%
Total	—	—	32	—	—	—	—	37.757.748	100%	—

Contoh perhitungan komponen *Spindle Bearing*:

- Total Biaya Pembelian Komponen = $\text{Rp}400.000 \times 5 = \text{Rp}2.000.000$

- Keuntungan yang Hilang = $1,714 \times \text{Rp}2.578.043 = \text{Rp}4.419.503$
- Total Kerugian = $\text{Rp}2.000.000 + \text{Rp}4.419.503 = \text{Rp}6.419.503$
- Persentase = $(\text{Rp}6.419.503 / \text{Rp}37.757.748) \times 100\% = 17\%$

Gambar 3: Diagram Pareto Komponen Kritis



Berdasarkan hasil perhitungan dan diagram Pareto, komponen *V-Belt*, *Pulley*, *Spindle Bearing*, *Thrust Bearing*, *Gear Shaft* dan *Arbor* ditetapkan sebagai komponen kritis pada mesin *milling* yang akan diteliti.

D. Perhitungan Selang Waktu Kerusakan (TTF) Komponen Kritis

Perhitungan *Time to Failure (TTF)* dilakukan untuk mengetahui selang waktu sejak komponen mulai digunakan hingga mengalami kerusakan. Data TTF komponen kritis mesin *milling* disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 11: Selang Waktu Terjadinya Kerusakan Komponen Kritis Mesin Milling 2

No.	V-Belt	Interval	Pulley	Interval	Spindle Bearing	Interval	Thrust Bearing	Interval	Gear Shaft	Interval
1	12/10/2022	-	17/11/2022	-	09/12/2022	-	30/06/2023	-	16/04/2023	-
2	04/01/2023	61	09/08/2023	190	26/03/2023	76	29/11/2023	109	12/11/2023	150
3	27/05/2023	103	26/08/2023	13	03/05/2024	290	04/10/2024	223	05/03/2024	82
4	30/09/2023	90	22/02/2024	129	02/05/2025	261	29/08/2025	236	30/01/2025	238
5	15/01/2024	76	09/07/2024	99	18/10/2025	121	-	-	-	-
6	29/03/2024	55	23/11/2024	99	-	-	-	-	-	-
7	18/08/2024	101	19/04/2025	105	-	-	-	-	-	-
8	15/02/2025	130	11/09/2025	104	-	-	-	-	-	-
9	12/07/2025	105	-	-	-	-	-	-	-	-

Meskipun *Arbor* termasuk komponen kritis berdasarkan diagram Pareto, komponen ini tidak digunakan sebagai objek penelitian karena hanya mengalami satu kali kerusakan. Data tersebut tidak mencukupi untuk pengujian distribusi, estimasi parameter dan penentuan interval penggantian pencegahan. Oleh karena itu, analisis difokuskan pada komponen kritis dengan data kerusakan yang memadai.

E. Pengujian Kecocokan Distribusi Kerusakan Weibull

Pengujian kecocokan distribusi Weibull dilakukan untuk mengetahui apakah data TTF komponen kritis mengikuti distribusi Weibull dua parameter. Pengujian menggunakan uji *S-Mann* dengan tingkat kepercayaan 95% dan $n=r$. Data dinyatakan mengikuti distribusi Weibull dua parameter apabila H_0 diterima, yaitu $\text{Shitung} < \text{Stabel}$. Perhitungan nilai statistik Shitung komponen *V-Belt* disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel 12: Perhitungan Nilai Statistik Shitung untuk Komponen *V-Belt*

No.	Rank (t_i)	$(X_i = \ln t_i)$	$(X_{i+1}-X_i)$	(M_i)	$((X_{i+1}-X_i)/M_i)$ untuk $(i=1)$	$((X_{i+1}-X_i)/M_i)$ untuk $(i=(r/2)+1)$
1	55	4,0073	0,1035	1,0683	0,0969	-
2	61	4,1109	0,2199	0,5773	0,3808	-
3	76	4,3307	0,1691	0,4229	0,3998	-
4	90	4,4998	0,1153	0,3570	0,3230	-
5	101	4,6151	0,0196	0,3341	0,0587	0,0587
6	103	4,6347	0,0192	0,3499	0,0550	0,0550
7	105	4,6540	0,2136	0,4493	0,4753	0,4753
8	130	4,8675	-	-	-	-
Jumlah					1,7895	0,5890

Contoh perhitungan menghasilkan $X_i=4,0073$, $X_{i+1}-X_i=0,1035$, $M_i=1,0683$, sehingga diperoleh $\text{Shitung}=0,3291$ dan $\text{Stabel}=0,71$. Karena $0,3291 < 0,71$, maka H_0 diterima, sehingga kerusakan komponen *V-Belt* mengikuti distribusi Weibull dua parameter. Hasil pengujian komponen lainnya dirangkum pada tabel berikut:

Tabel 13: Rekapitulasi Pengujian Kecocokan Distribusi Kerusakan Weibull

No.	Nama Komponen	(n)	S-Hitung	S-Tabel	Kesimpulan
1	<i>V-Belt</i>	8	0,3291	0,71	Terima H_0 , distribusi Weibull
2	<i>Pulley</i>	7	0,4059	0,80	Terima H_0 , distribusi Weibull
3	<i>Spindle Bearing</i>	4	0,0941	0,76	Terima H_0 , distribusi Weibull
4	<i>Thrust Bearing</i>	3	0,1004	0,95	Terima H_0 , distribusi Weibull
5	<i>Gear Shaft</i>	3	0,5186	0,95	Terima H_0 , distribusi Weibull

Seluruh komponen kritis memiliki nilai $S\text{-hitung} < S\text{-tabel}$, sehingga H_0 diterima. Dengan demikian, data kerusakan *V-Belt*, *Pulley*, *Spindle Bearing*, *Thrust Bearing* dan *Gear Shaft* mengikuti distribusi Weibull dua parameter.

F. Penentuan Parameter Skala dan Parameter Bentuk Distribusi Weibull

Setelah data dinyatakan mengikuti distribusi Weibull dua parameter, dilakukan penentuan parameter skala (α) dan parameter bentuk (β). Kedua parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan waktu penggantian pencegahan setiap komponen kritis. Perhitungan parameter distribusi *Weibull* dua parameter untuk komponen *V-Belt* disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel 14: Perhitungan Parameter Distribusi Dua Parameter Komponen *V-Belt*

No.	Rank (t_i) / Hari	(Y_i)	($F(t_i)$)	(X_i)	(x_i^2)	($X_i Y_i$)
1	55	4,0073	0,0833	-2,4417	5,9620	-9,7848
2	61	4,1109	0,2024	-1,4867	2,2102	-6,1115
3	76	4,3307	0,3214	-0,9474	0,8975	-4,1027
4	90	4,4998	0,4405	-0,5436	0,2955	-2,4460
5	101	4,6151	0,5595	-0,1986	0,0394	-0,9164
6	103	4,6347	0,6786	0,1266	0,0160	0,5868
7	105	4,6540	0,7976	0,4685	0,2195	2,1804
8	130	4,8675	0,9167	0,9102	0,8285	4,4306
Jumlah	721	35,7201	—	—	10,4686	-16,1636

Hasil perhitungan diperoleh $\beta = 3,7994$ dan $\alpha = 99,5155$. Rekapitulasi parameter skala dan parameter bentuk untuk seluruh komponen kritis disajikan pada tabel berikut:

Tabel 15: Rekapitulasi Parameter Skala dan Parameter Bentuk

No.	Nama Komponen	(a)	(b)	Parameter Skala (α)	Parameter Bentuk (β)
1	<i>V-Belt</i>	4,6003	0,2632	99,5155	3,7994
2	<i>Pulley</i>	4,8028	0,6915	121,8511	1,4462
3	<i>Spindle Bearing</i>	5,3837	0,6143	217,8297	1,6279
4	<i>Thrust Bearing</i>	5,3777	0,4148	216,5324	2,4107
5	<i>Gear Shaft</i>	5,2170	0,5532	184,3794	1,8076

Berdasarkan tabel di atas, parameter skala (α) dan parameter bentuk (β) telah diperoleh untuk seluruh komponen kritis. Nilai α berkisar antara 99,5155-217,8297, sedangkan nilai β berkisar antara 1,4462-3,7994. Nilai α terbesar terdapat pada *Spindle Bearing* sebesar 217,8297, sedangkan nilai β terbesar terdapat pada *V-Belt* sebesar 3,7994. Hasil parameter tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan interval penggantian pencegahan masing-masing komponen kritis.

G. Perhitungan Biaya Penggantian Pencegahan dan Biaya Perbaikan Kerusakan Komponen

Perhitungan *Cost of Preventive* (C_p) adalah biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan pada saat proses satu kali penggantian pencegahan, sedangkan biaya perbaikan

kerusakan (Cf) adalah adalah biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan pada saat proses penggantian komponen akibat terjadinya kerusakan. Berikut adalah perhitungan Cp dan Cf dari masing-masing komponen kritis.

Tabel 16: Perhitungan Cp dan Cf

Komponen	Biaya Pembelian Komponen (Rp)	Waktu Penggantian Pencegahan (Hari)	Keuntungan Hilang Pencegahan (Rp)	Total Cp (Rp)	Waktu Perbaikan Kerusakan (Hari)	Keuntungan Hilang Kerusakan (Rp)	Total Cf (Rp)
V-Belt	330.000	0,286	736.584	1.256.584	1,286	3.314.627	3.834.629
Pulley	300.000	0,286	736.584	1.226.584	1,286	3.314.627	3.804.629
Spindle Bearing	400.000	0,714	1.841.460	2.431.460	1,714	4.419.503	5.009.505
Thrust Bearing	375.000	0,714	1.841.460	2.406.460	1,714	4.419.503	4.984.505
Gear Shaft	200.000	0,643	1.657.314	2.047.314	1,643	4.235.357	4.625.359

Contoh perhitungan komponen gear shaft:

$$\begin{aligned}
 - \text{Keuntungan yang Akan Hilang} &= \text{Total Keuntungan/Hari} \times \text{Waktu} \\
 \text{Penggantian Pencegahan Komponen} & \\
 &= \text{Rp2.578.043} \times 0,643 \\
 &= \text{Rp1.657.314}
 \end{aligned}$$

H. Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan

Setelah diperoleh parameter distribusi waktu kerusakan setiap komponen, tahap selanjutnya adalah menentukan interval waktu penggantian pencegahan untuk komponen kritis. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan parameter Weibull serta biaya penggantian pencegahan (Cp) dan biaya penggantian akibat kerusakan (Cf). Berdasarkan hasil pengolahan data, diperoleh parameter $\alpha=99,5155$, $\beta=3,7994$, $T_f=1,286$ hari, $T_p=0,286$ hari, $C_p=\text{Rp1.256.584}$ dan $C_f=\text{Rp3.834.629}$. Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan disajikan pada tabel berikut:

Tabel 17: Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan untuk Komponen V-Belt

t	R(t)	F(t)	$\int t \cdot f(t) dt$	f(t)	Pembilang	Penyebut	C(t)
10	0,9998	0,0002	0,0031	0,0001	1.257.000,8616	10,2873	122.189,2225
20	0,9978	0,0022	0,0853	0,0004	1.262.380,3679	20,3283	62.099,5834
30	0,9896	0,0104	0,5924	0,0013	1.283.524,1455	30,5751	41.979,4040
40	0,9691	0,0309	2,3079	0,0029	1.336.123,5102	41,3903	32.281,0407



50	0,9295	0,0705	6,4589	0,0052	1.438.461,9739	53,2878	26.994,2271
60	0,8639	0,1361	14,4025	0,0080	1.607.367,0690	66,6604	24.112,7903
70	0,7690	0,2310	26,8638	0,0110	1.852.205,1345	81,2080	22.808,1471
71	0,7579	0,2421	28,3410	0,0112	1.880.834,2928	82,6769	22.749,2126
72	0,7465	0,2535	29,8536	0,0115	1.910.176,1428	84,1392	22.702,5672
73	0,7348	0,2652	31,3989	0,0118	1.940.214,1635	85,5921	22.668,1449
74	0,7229	0,2771	32,9742	0,0120	1.970.929,8366	87,0325	22.645,9133
75	0,7107	0,2893	34,5764	0,0123	2.002.302,6411	88,4570	22.635,8743
76	0,6983	0,3017	36,2021	0,0125	2.034.310,0539	89,8624	22.638,0643
77	0,6857	0,3143	37,8478	0,0128	2.066.927,5608	91,2448	22.652,5540
78	0,6728	0,3272	39,5094	0,0130	2.100.128,6752	92,6005	22.679,4499
79	0,6597	0,3403	41,1830	0,0132	2.133.884,9661	93,9256	22.718,8940
80	0,6464	0,3536	42,8641	0,0134	2.168.166,0960	95,2158	22.771,0653
90	0,5053	0,4947	58,9717	0,0146	2.531.930,3261	105,2295	24.061,0326
100	0,3611	0,6389	69,8741	0,0140	2.903.717,2456	106,9080	27.160,9102
110	0,2315	0,7685	70,7836	0,0117	3.237.779,6661	97,3041	33.274,8390
120	0,1305	0,8695	60,5816	0,0084	3.498.186,4146	77,3972	45.197,8416
130	0,0633	0,9367	43,1368	0,0051	3.671.481,0648	52,5861	69.818,4402
140	0,0258	0,9742	25,0894	0,0026	3.768.138,6305	29,9601	125.771,9692
150	0,0086	0,9914	11,6739	0,0010	3.812.412,0401	14,2436	267.657,0052
160	0,0023	0,9977	4,2463	0,0003	3.828.700,0190	5,8976	649.192,8100
170	0,0005	0,9995	1,1775	0,0001	3.833.399,5455	2,5438	1.506.946,6833
180	0,0001	0,9999	0,2423	0,0000	3.834.436,2969	1,5414	2.487.635,5353
190	0,0000	1,0000	0,0360	0,0000	3.834.606,5316	1,3233	2.897.777,4682
200	0,0000	1,0000	0,0037	0,0000	3.834.626,7549	1,2896	2.973.533,0349

Contoh perhitungan menghasilkan nilai $R(t)=0,7107$, $F(t)=0,2893$, $f(t)=0,0123$, serta nilai fungsi biaya $C(t)=22.635,8743$. Perhitungan interval untuk komponen lainnya disajikan pada Lampiran C. Hasil perhitungan seluruh komponen kemudian direkapitulasi dalam tabel berikut:

Tabel 18: Rekapitulasi Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan

No.	Nama Komponen	Interval Penggantian (Hari)	Ongkos/Siklus (Rp)
1	<i>V-Belt</i>	75	22.635,8743
2	<i>Pulley</i>	91	35.031,3246
3	<i>Spindle Bearing</i>	183	27.062,4480
4	<i>Thrust Bearing</i>	175	21.395,2748
5	<i>Gear Shaft</i>	147	26.986,3041

Berdasarkan tabel tersebut, interval penggantian pencegahan terpendek adalah V-Belt yaitu 75 hari, sedangkan interval terpanjang adalah Spindle Bearing yaitu 183 hari. Hasil ini menjadi dasar dalam penyusunan jadwal penggantian dan perencanaan kebutuhan komponen kritis selama satu tahun.



I. Penjadwalan Penggantian Komponen Kritis

Berdasarkan metode *age replacement*, diperoleh interval penggantian pencegahan optimal untuk setiap komponen kritis mesin *milling*. Interval tersebut digunakan untuk menyusun jadwal penggantian selama satu tahun dan menentukan frekuensi kebutuhan suku cadang sebagai dasar perencanaan persediaan. Jadwal penggantian masing-masing komponen disajikan pada tabel berikut:

Tabel 19. Penjadwalan Penggantian Komponen Kritis

Mesin	Nama Komponen	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
Mesin 1	V-Belt		x				x			x			x
	Pulley	x					x				x		
	Spindle Bearing				x								x
	Thrust Bearing		x								x		
	Gear Shaft				x							x	
Mesin 2	V-Belt		x			x				x			x
	Pulley	x				x				x			
	Spindle Bearing							x					
	Thrust Bearing					x							
	Gear Shaft			x							x		
Mesin 3	V-Belt			x				x			x		
	Pulley				x					x			
	Spindle Bearing							x					
	Thrust Bearing								x				
	Gear Shaft							x					
Mesin 4	V-Belt			x			x				x		
	Pulley	x					x				x		
	Spindle Bearing			x								x	
	Thrust Bearing					x							
	Gear Shaft				x							x	

Penjadwalan dilakukan dengan menambahkan umur komponen pada waktu penggantian terakhir. Tanda x menunjukkan waktu pelaksanaan penggantian setiap bulan. Jadwal ini menjadi dasar dalam memastikan ketersediaan suku cadang agar penggantian pencegahan dapat terlaksana sesuai rencana.

J. Penentuan Kebutuhan Komponen

Penentuan kebutuhan komponen dilakukan berdasarkan jadwal penggantian pencegahan, standar jumlah komponen setiap penggantian dan frekuensi penggantian selama satu tahun. Sebagai contoh, V-Belt membutuhkan 3 unit setiap penggantian dengan interval 75 hari, sehingga diperkirakan membutuhkan 4 kali penggantian dalam satu tahun. Data kebutuhan seluruh komponen kritis selama satu tahun disajikan pada tabel berikut:

Tabel 20. Data Kebutuhan Komponen Kritis

Nama Komponen	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Total Kebutuhan
<i>V-Belt</i>	0	6	6	0	3	6	3	0	6	6	0	6	42
<i>Pulley</i>	6	0	0	2	2	4	0	0	4	4	0	0	22
<i>Spindle Bearing</i>	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	1	1	6
<i>Thrust Bearing</i>	0	1	0	0	2	0	0	1	0	1	0	0	5
<i>Gear Shaft</i>	0	0	1	2	0	0	1	0	0	1	2	0	7
Total	6	7	8	5	7	10	6	1	10	12	3	7	82

Berdasarkan tabel di atas, total kebutuhan komponen kritis selama satu tahun adalah 82 unit. Komponen dengan kebutuhan terbesar adalah *V-Belt* sebanyak 42 unit, diikuti *Pulley* sebanyak 22 unit, *Gear Shaft* sebanyak 7 unit, *Spindle Bearing* sebanyak 6 unit dan *Thrust Bearing* sebanyak 5 unit. Kebutuhan komponen tertinggi terjadi pada Oktober sebanyak 12 unit, sedangkan kebutuhan terendah terjadi pada Agustus sebanyak 1 unit.

K. Uji Distribusi Normal Kebutuhan Komponen

Uji distribusi normal dilakukan untuk mengetahui apakah data kebutuhan komponen kritis berdistribusi normal. Pengujian menggunakan *Kolmogorov-Smirnov* dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$. Hipotesis yang digunakan adalah H_0 : data berdistribusi normal dan H_1 : data tidak berdistribusi normal. Perhitungan statistik untuk komponen *V-Belt* disajikan pada tabel berikut:

Tabel 21: Perhitungan Statistik Komponen *V-Belt*

No.	(x_i)	Frekuensi (f_i)	Frekuensi Kumulatif	$f_i x_i$	$F_a(x)$	z_i	$F_t(x)$	(D)	$x_i - \mu$	$f_i(x_i - \mu)^2$
1	3	1	1	3	0,125	-1,62	0,053	0,072	-2,250	5,0625
2	3	1	2	3	0,250	-1,62	0,053	0,197	-2,250	5,0625
3	6	1	3	6	0,375	0,54	0,705	0,330	0,750	0,5625
4	6	1	4	6	0,500	0,54	0,705	0,205	0,750	0,5625
5	6	1	5	6	0,625	0,54	0,705	0,080	0,750	0,5625
6	6	1	6	6	0,750	0,54	0,705	0,045	0,750	0,5625
7	6	1	7	6	0,875	0,54	0,705	0,170	0,750	0,5625
8	6	1	8	6	1,000	0,54	0,705	0,295	0,750	0,5625
Total	-	8	-	42	-	-	-	-	-	13,500
μ										
s										

Hasil perhitungan *V-Belt* memperoleh rata-rata $\mu = 5,250$, standar deviasi $s = 1,389$ dan $D_{max} = 0,330$, sedangkan $D_{tabel} = 0,454$. Karena $D_{max} \leq D_{tabel}$, maka H_0 diterima, sehingga data kebutuhan *V-Belt* berdistribusi normal. Rekapitulasi hasil uji *Kolmogorov-Smirnov* seluruh komponen kritis disajikan pada tabel berikut:

Tabel 22: Rekapitulasi Hasil Uji Distribusi Kolmogorov-Smirnov

No.	Nama Komponen	D_{max}	D_{tabel}	Kesimpulan
1	<i>V-Belt</i>	0,330	0,454	Terima H_0 , data berdistribusi normal
2	<i>Pulley</i>	0,246	0,519	Terima H_0 , data berdistribusi normal
3	<i>Spindle Bearing</i>	0,473	0,563	Terima H_0 , data berdistribusi normal
4	<i>Thrust Bearing</i>	0,441	0,624	Terima H_0 , data berdistribusi normal
5	<i>Gear Shaft</i>	0,367	0,563	Terima H_0 , data berdistribusi normal

L. Perhitungan Persediaan dengan Metode Joint Replenishment

Selain uji distribusi normal, penentuan persediaan komponen juga memerlukan data parameter perhitungan untuk masing-masing komponen yang dapat dilihat pada berikut.

Tabel 23: Parameter Perhitungan Metode Joint Replenishment

No	Komponen	Total Kebutuhan (D_i)	Standar Deviasi Permintaan (σ_i)	Koefisien Normal (ϵ_i)	Lead Time (L_i)	Biaya Pesan Minor (a_i)	Biaya Pesan Mayor (A)	Biaya Simpan (h_i)
1	<i>V-Belt</i>	42	1,389	1,645	0,003	Rp25.000	Rp45.000	Rp5.225
2	<i>Pulley</i>	22	1,506		0,003	Rp25.000	Rp45.000	Rp7.125
3	<i>Spindle Bearing</i>	6	0,447		0,003	Rp25.000	Rp45.000	Rp19.000
4	<i>Thrust Bearing</i>	5	0,500		0,003	Rp25.000	Rp45.000	Rp17.813
5	<i>Gear Shaft</i>	7	0,548		0,003	Rp25.000	Rp45.000	Rp9.500

Langkah selanjutnya adalah menghitung total ongkos persediaan menggunakan model *joint replenishment* untuk masing-masing komponen. Terdapat beberapa langkah dalam metode *joint replenishment*, di antaranya adalah sebagai berikut.

1) Penentuan Nilai Interval Pemesanan Dasar/Basic Cycle (T)

Terdapat beberapa iterasi dalam menentukan nilai interval pemesanan dasar. Data yang digunakan dalam perhitungan meliputi biaya pesan minor (a_i), biaya pesan mayor (A), biaya simpan (h_i), rata-rata permintaan (D_i), koefisien normal (z_i) dan *lead time* (L_i).

Iterasi 1



Terdapat enam langkah yang harus dilakukan pada iterasi awal untuk menentukan nilai interval pemesanan dasar. Berikut ini langkah-langkah penentuan nilai interval pemesanan dasar.

- a) Langkah awal adalah menentukan nilai T_i^* untuk setiap *item* menggunakan persamaan berikut. perhitungan nilai T_i^* untuk komponen *v-belt* dapat dilihat di bawah ini.

$$T_0 = \sqrt{\frac{2a_i}{h_i D_i}}$$

$$T_0 = \sqrt{\frac{2 \times 25000}{5225 \times 42}}$$

$$= 0,477 \text{ Tahun}$$

$$T_i^* = \sqrt{\frac{2a_i}{h_i \left(D_i + \frac{z_i \sigma_i}{\sqrt{T_0 + L_i}} \right)}}$$

$$T_i^* = \sqrt{\frac{2 \times 25000}{5225 \left(42 + \frac{1,645 \times 1,389}{\sqrt{0,477 + 0,003}} \right)}}$$

$$= 0,460 \text{ Tahun}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan nilai T_i^* untuk setiap komponen kritis dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 24: Rekapitulasi Hasil Perhitungan T_i^* Iterasi 1

Nama Komponen	T_0	T_i^*
<i>V-Belt</i>	0,477	0,460
<i>Pulley</i>	0,565	0,527
<i>Spindle Bearing</i>	0,662	0,617
<i>Thrust Bearing</i>	0,749	0,687
<i>Gear Shaft</i>	0,867	0,813

- b) Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai T_i^* terkecil. Komponen dengan nilai T_i^* terkecil akan ditandai sebagai *item* 1 dengan nilai $k_1 = 1$. Komponen dengan nilai T_i^* terkecil adalah komponen *v-belt* yang memiliki nilai 0,443. Rekapitulasi urutan T_i^* dari yang terkecil hingga terbesar dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 25: Rekapitulasi Urutan Nilai T_i^* Iterasi 1

i	Nama Komponen	T_0	T_i^*
1	<i>V-Belt</i>	0,477	0,460
2	<i>Pulley</i>	0,565	0,527
3	<i>Spindle Bearing</i>	0,662	0,617
4	<i>Thrust Bearing</i>	0,749	0,687
5	<i>Gear Shaft</i>	0,867	0,813

- c) Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai T dengan menggunakan dengan menggunakan *item* 1. Langkah ini menggunakan persamaan berikut:



$$T_0 = \sqrt{\frac{2(A+a_1)}{h_1 D_1}}$$

$$T_0 = \sqrt{\frac{2(45000+25000)}{5225 \times 42}}$$

$$= 0,799 \text{ Tahun}$$

$$T^1 = \frac{2(A+a_1)}{h_1 \left(D_1 + \frac{z_1 \sigma_1}{\sqrt{T_0 + L_1}} \right)}$$

$$T = \frac{2(45000+25000)}{5225 \left(42 + \frac{1,645 \times 1,389}{\sqrt{0,799 + 0,003}} \right)}$$

$$= 0,769 \text{ Tahun}$$

d) Langkah ini menentukan nilai k item lain. Contoh perhitungan nilai k_1 , yaitu komponen *v-belt* adalah sebagai berikut.

$$T_1^* = 0,460$$

$$T = 0,769$$

Jika $q=1$, maka:

$$\sqrt{(1-1)1} \leq \frac{0,460}{0,769} \leq \sqrt{(1+1)1}$$

$$0 \leq 0,598 \leq 1,414$$

Nilai $k_1 = 1$ memenuhi persamaan, sehingga $k_1 = 1$. Rekapitulasi hasil perhitungan untuk menentukan nilai k item lainnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 26: Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai k item Iterasi 1

q = 1						
k _i	J((q-1)q)	≤	T _i */T	≤	J((q+1)q)	Kesimpulan
1	0	≤	0,598	≤	1,414	Memenuhi persamaan, maka k ₁ = 1
2	0	≤	0,685	≤	1,414	Memenuhi persamaan, maka k ₂ = 1
3	0	≤	0,803	≤	1,414	Memenuhi persamaan, maka k ₃ = 1
4	0	≤	0,893	≤	1,414	Memenuhi persamaan, maka k ₄ = 1
5	0	≤	1,057	≤	1,414	Memenuhi persamaan, maka k ₅ = 1

e) Langkah kelima akan menentukan nilai T . Berikut adalah tabel yang berisi data-data untuk menghitung nilai T_0 dan T . Data yang digunakan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 27: Data Perhitungan T_0 dan T Iterasi 1

Nama Komponen	Biaya Pesan Mayor (A) (Rp)	Biaya Pesan Minor (a _i) (Rp)	k_i	Biaya Simpan (h _i) (Rp)	Demand (D _i)	Koefisien Normal (z _i)	Standar Deviasi (σ _i)	Lead Time (L _i) (Tahun)
V-Belt	45.000	25.000	1	5.225	42	1,645	1,389	0,003
Pulley	45.000	25.000	1	7.125	22	1,645	1,506	0,003



Spindle Bearing	45.000	25.000	1	19.000	6	1,645	0,447	0,003
Thrust Bearing	45.000	25.000	1	17.813	5	1,645	0,500	0,003
Gear Shaft	45.000	25.000	1	9.500	7	1,645	0,548	0,003

Komponen perhitungan yang dibutuhkan dalam perhitungan T_0 dan T dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 28: Komponen Perhitungan T_0 dan T Iterasi 1

Nama Komponen	a_i/k_i (Rp)	$h_i k_i D_i$ (Rp)	$h_i k_i$ (Rp)	$z_i \sigma_i$	$\sqrt{k_i T_0 + L_i}$	$D_i + \frac{z_i \sigma_i}{\sqrt{k_i T_0 + L_i}}$	$h_i k_i (D_i + \frac{z_i \sigma_i}{\sqrt{k_i T_0 + L_i}})$
V-Belt	25.000	219.450	5.225	2,284	0,853	44,677	233.434,970
Pulley	25.000	156.750	7.125	2,476	0,853	24,902	177.424,551
Spindle Bearing	25.000	114.000	19.000	0,736	0,853	6,862	130.376,684
Thrust Bearing	25.000	89.063	17.813	0,822	0,853	5,964	106.227,834
Gear Shaft	25.000	66.500	9.500	0,901	0,853	8,056	76.528,630
Total	125.000	645.763	58.663	7	4	90	723.993

$$T_0 = \sqrt{\frac{2(A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i})}{\sum_{i=1}^n h_i k_i D_i}}$$

$$T_0 = \sqrt{\frac{2(45000 + 125000)}{645763}}$$

$$= 0,726 \text{ Tahun}$$

$$T^1 = \sqrt{\frac{2(A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i})}{\sum_{i=1}^n h_i k_i (D_i + \frac{z_i \sigma_i}{\sqrt{k_i T_0 + L_i}})}}$$

$$T = \sqrt{\frac{2(45000 + 125000)}{723993}}$$

$$= 0,685 \text{ Tahun}$$

f) Langkah terakhir yaitu menghitung ongkos total persediaan. Data yang diperlukan untuk perhitungan total biaya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 29: Data Total Biaya

Nama Komponen	$\frac{A}{T}$	$\frac{a_i}{T}$	$\frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i}}{T}$	$\frac{D_1(T_1 + L_i)h_i}{2}$	$z_i \sigma_i h_i$	$\sqrt{T + L_1}$	$\frac{z_i \sigma_i h_i}{\sqrt{T + L_1}}$	$\sum_i [\frac{DTk_i h_i}{2} + z_i \sigma_i h_i \sqrt{k_i T + L_1}]$
V-Belt	Rp65.665,94	Rp36.481,08	Rp182.405,38	Rp75.493,71	Rp11.935,25	0,829	Rp9.899,97	Rp9.914,36
Pulley								Rp9.907,51
Spindle Bearing								Rp9.902,03



Thrust Bearing								Rp9.901,69
Gear Shaft								Rp9.902,37
Total / Σ								Rp49.527,96

$$OT = \frac{A}{T} + \frac{a_1}{T} + \sum_{i=1}^n \frac{\frac{a_i}{k_i}}{T} + \frac{D_1(T_1+L_1)h_i}{2} + z_i\sigma_i h_i \sqrt{T+L_1} + \sum_{i=1}^n \left[\frac{DTk_i h_i}{2} + z_i\sigma_i h_i \sqrt{k_i T + L_1} \right]$$

$$= 65.665,94 + 36.481,08 + 182.405,38 + 75.493,71 + (11,935,25 \times 0,829) + 49.527,96$$

$$= \text{Rp}419.474,04$$

Iterasi 2

g) Langkah ini menentukan nilai k item lain menggunakan persamaan 2.47. Contoh perhitungan nilai k_1 , yaitu komponen *v-belt* adalah sebagai berikut:

$$T_1^* = 0,460$$

$$T = 0,685$$

Jika $q=1$, maka:

$$\sqrt{(1-1)1} \leq \frac{0,460}{0,685} \leq \sqrt{(1+1)1}$$

$$0 \leq 0,671 \leq 1,414$$

Tabel 30: Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai k item Iterasi 2

k_i	f	$\leq$	T_i^*/T	$\leq$	$f((q+1)q)$	Kesimpulan
1	0	$\leq$	0,671	$\leq$	1,414	Memenuhi persamaan, maka $k_1 = 1$
2	0	$\leq$	0,769	$\leq$	1,414	Memenuhi persamaan, maka $k_2 = 1$
3	0	$\leq$	0,901	$\leq$	1,414	Memenuhi persamaan, maka $k_3 = 1$
4	0	$\leq$	1,002	$\leq$	1,414	Memenuhi persamaan, maka $k_4 = 1$
5	0	$\leq$	1,186	$\leq$	1,414	Memenuhi persamaan, maka $k_5 = 1$

h) Langkah kelima akan menentukan nilai T . Berikut adalah tabel yang berisi data-data untuk menghitung nilai T_0 dan T . Data yang digunakan tersebut dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 31: Data Perhitungan T_0 dan T Iterasi 2

Nama Komponen	Biaya Pesan Mayor (A) (Rp)	Biaya Pesan Minor (a_i) (Rp)	k_i	Biaya Simpan (h_i) (Rp)	Demand (D_i)	Koefisien Normal (z_i)	Standar Deviasi (σ_i)	Lead Time (L_i) (Tahun)
V-Belt	45.000	25.000	1	5.225	42	1,645	1,389	0,003
Pulley	45.000	25.000	1	7.125	22	1,645	1,506	0,003
Spindle Bearing	45.000	25.000	1	19.000	6	1,645	0,447	0,003



Thrust Bearing	45.000	25.000	1	17.813	5	1,645	0,500	0,003
Gear Shaft	45.000	25.000	1	9.500	7	1,645	0,548	0,003

Komponen perhitungan yang dibutuhkan dalam perhitungan T_0 dan T dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 32: Komponen Perhitungan T_0 dan T Iterasi 2

Nama Komponen	a_i/k_i (Rp)	$h_i k_i D_i$ (Rp)	$h_i k_i$ (Rp)	$z_i \sigma_i$	$f(k_i T_0 + L_i)$	$D_i + z_i \sigma_i / f(k_i T_0 + L_i)$	$h_i k_i (D_i + z_i \sigma_i / f(k_i T_0 + L_i))$
V-Belt	25.000	219.450	5.225	2,284	0,853	44,677	233.434,970
Pulley	25.000	156.750	7.125	2,476	0,853	24,902	177.424,551
Spindle Bearing	25.000	114.000	19.000	0,736	0,853	6,862	130.376,684
Thrust Bearing	25.000	89.062,5	17.812,5	0,822	0,853	5,964	106.227,834
Gear Shaft	25.000	66.500	9.500	0,901	0,853	8,056	76.528,630
Total	125.000	645.762,5	58.662,5	7	4	90	723.993

$$T_0 = \sqrt{\frac{2 \left(A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i} \right)}{\sum_{i=1}^n h_i k_i D_i}}$$

$$T_0 = \sqrt{\frac{2(45000+125000)}{645763}}$$

$$= 0,726 \text{ Tahun}$$

$$T^1 = \sqrt{\frac{2 \left(A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i} \right)}{\sum_{i=1}^n h_i k_i \left(D_i + \frac{z_i \sigma_i}{\sqrt{k_i T_0 + L_i}} \right)}}$$

$$T = \sqrt{\frac{2(45000+125000)}{723993}}$$

$$= 0,685 \text{ Tahun}$$

- i) Langkah terakhir yaitu menghitung ongkos total persediaan. Data yang diperlukan untuk perhitungan total biaya dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 33: Data Total Biaya

Nama Komponen	$\frac{A}{T}$	$\frac{a_i}{T}$	$\frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i}}{T}$	$\frac{D_1(T_1 + L_i)h_i}{2}$	$z_i \sigma_i h_i$	$\sqrt{T + L_1}$	$\frac{z_i \sigma_i h_i}{\sqrt{T + L_1}}$	$\sum_{i=1}^n \left[\frac{DTk_i h_i}{2} + z_i \sigma_i h_i \sqrt{k_i T + L_1} \right]$
V-Belt	Rp65.665,94	Rp36.481,08	Rp182.405,38	Rp75.493,71	Rp11.935,25	0,829	Rp9.899,97	Rp49.527,96
Pulley								
Spindle Bearing								
Thrust Bearing								
Gear Shaft								



$$OT = \frac{A}{T} + \frac{a_1}{T} + \sum_{i=1}^n \frac{\frac{a_i}{k_i}}{T} + \frac{D_1(T_1+L_1)h_i}{2} + z_i \sigma_i h_i \sqrt{T + L_1} + \sum_{i=1}^n \left[\frac{DTk_i h_i}{2} + z_i \sigma_i h_i \sqrt{k_i T + L_1} \right]$$

$$= 65.665,94 + 36.481,08 + 182.405,38 + 75.493,71 + (11,935,25 \times 0,829) + 49.527,96$$

$$= \text{Rp}419.474,04$$

Perhitungan iterasi dihentikan hingga iterasi 2 karena nilai k_1 yang didapatkan pada iterasi 1 dan iterasi 2 memiliki nilai yang sama dengan hasil nilai T dan ongkos total yang didapatkan juga memiliki nilai yang sama. Rekapitulasi hasil nilai T dan ongkos total (OT) dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 34: Rekapitulasi Nilai T dan OT

Iterasi	T (Tahun)	OT (Rp)
1	0,685	Rp419.474,04
2	0,685	Rp419.474,04

2) Penentuan Interval Pemesanan Tiap Item atau Jenis Komponen Kritis (T_i)

Penentuan interval pemesanan (T_i) diperoleh dari perkalian k_i dengan T . Hasil dari perhitungan interval pemesanan untuk tiap item dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 35: Rekapitulasi Nilai Interval Pemesanan Tiap Komponen Kritis

Nama Komponen	k_i	T (Tahun)	T_i (Tahun)
V-Belt	1	0,685	0,685
Pulley	1	0,685	0,685
Spindle Bearing	1	0,685	0,685
Thrust Bearing	1	0,685	0,685
Gear Shaft	1	0,685	0,685

Contoh perhitungan untuk komponen v-belt:

$$T_i = k_i \times T$$

$$= 1 \times 0,685$$

$$= 0,685 \text{ Tahun}$$

3) Penentuan Inventory Level (IL_i) dan Safety Stock (ss)

Inventory level ditetapkan untuk memenuhi permintaan selama interval pemesanan serta mempertimbangkan fluktuasi permintaan dalam interval pemesana dan *lead time*. Safety stock diperlukan untuk mengantisipasi permintaan yang berfluktuasi, sehingga tingkat

persediaan mencakup jumlah permintaan dalam interval pemesanan, *safety stock* dan permintaan selama *lead time*. Nilai tingkat persediaan dan *safety stock* untuk setiap komponen kritis dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 36: Rekapitulasi Hasil *Inventory Level* dan *Safety Stock*

Nama Komponen	SS (Pcs)	IL _i (Pcs)
<i>V-Belt</i>	2	3
<i>Pulley</i>	3	3
<i>Spindle Bearing</i>	1	1
<i>Thrust Bearing</i>	1	1
<i>Gear Shaft</i>	1	1

Contoh perhitungan untuk komponen *v-belt*:

$$\begin{aligned}
 \text{Safety Stock} &= z_i \times \sigma_i (\sqrt{T_i + L_i}) \\
 &= 1,645 \times 1,389 \times (\sqrt{0,685 + 0,003}) \\
 &= 1,895 \approx 2 \text{ Pcs}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Inventory Level} &= D_i \times (k_i \times L_i) + z_i \times \sigma_i (\sqrt{T_i + L_i}) \\
 &= 42 \times (1 \times 0,003) + 1,895 \\
 &= 2,010 \approx 3 \text{ Pcs}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka gambaran simulasi implementasi dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 37: Gambaran Simulasi Implementasi

Periode	Waktu Pemesanan	<i>V-Belt</i>	<i>Pulley</i>	<i>Spindle Bearing</i>	<i>Thrust Bearing</i>	<i>Gear Shaft</i>
Periode 1	Awal tahun	31	19	6	5	6
Periode 2	Hari ke-250	Sisa kebutuhan tahunan + <i>Safety Stock</i> – stok tersisa	Sisa kebutuhan tahunan + <i>Safety Stock</i> – stok tersisa	Sisa kebutuhan tahunan + <i>Safety Stock</i> – stok tersisa	Sisa kebutuhan tahunan + <i>Safety Stock</i> – stok tersisa	Sisa kebutuhan tahunan + <i>Safety Stock</i> – stok tersisa
Akhir Tahun	Evaluasi	Pastikan minimal 2 unit	Pastikan minimal 3 unit	Pastikan minimal 1 unit	Pastikan minimal 1 unit	Pastikan minimal 1 unit

4) Penentuan Total Ongkos Persediaan Gabungan

Setelah nilai *inventory level* dan *safety stock* dihitung, langkah selanjutnya adalah menghitung total ongkos persediaan gabungan. Total ongkos persediaan gabungan (*OT*) dari keseluruhan diperoleh dengan menambahkan total biaya pembelian. Total biaya pembelian

adalah jumlah kebutuhan dikalikan dengan harga komponen/pcs yang dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 38: Total biaya Pembelian

No.	Komponen	Total Kebutuhan (D _i)	Harga Beli (p)	Biaya Pembelian
1	<i>V-Belt</i>	42	Rp 110.000	Rp 4.620.000
2	<i>Pulley</i>	22	Rp 150.000	Rp 3.300.000
3	<i>Spindle Bearing</i>	6	Rp 400.000	Rp 2.400.000
4	<i>Thrust Bearing</i>	5	Rp 375.000	Rp 1.875.000
5	<i>Gear Shaft</i>	7	Rp 200.000	Rp 1.400.000
Total		Σ		Rp 13.595.000

Sehingga total ongkos persediaan gabungan dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 OT &= \sum \text{Biaya pembelian} + \frac{A}{T} + \frac{a_1}{T} + \sum_{i=1}^n \frac{\frac{a_i}{k_i}}{T} + \frac{D_1(T_1+L_i)h_i}{2} + z_i\sigma_i h_i \sqrt{T+L_1} + \sum_{i=1}^n \left[\frac{DTk_i h_i}{2} + \right. \\
 &\quad \left. z_i\sigma_i h_i \sqrt{k_i T + L_1} \right] \\
 &= 13.595.000 + 65.665,94 + 36.481,08 + 182.405,38 + 75.493,71 + (11,935,25 \times 0,829) + \\
 &\quad 49.527,96 \\
 &= \text{Rp}14.014.474,04
 \end{aligned}$$

3.2 Analisis

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *spindle bearing*, *v-belt*, *thrust bearing*, *pulley* dan *gear shaft* merupakan komponen kritis yang memberikan kontribusi terbesar terhadap kerugian mesin milling. Kelima komponen terbukti mengikuti distribusi Weibull dengan nilai $B > 1$, yang menunjukkan pola kerusakan berada pada fase *wear-out* sehingga diperlukan perawatan pencegahan. Perbandingan biaya menunjukkan bahwa penggantian pencegahan lebih ekonomis dibandingkan perbaikan kerusakan karena dapat mengurangi *downtime*. Berdasarkan metode *age replacement*, diperoleh interval penggantian pencegahan optimal yang meminimalkan ongkos perawatan setiap komponen. Selanjutnya, metode *joint replenishment* menghasilkan *basic cycle* sebesar 0,685 tahun atau sekitar 250 hari, sehingga pemesanan kelima komponen dapat dilakukan secara bersamaan. Kebijakan ini juga menetapkan safety stock sebesar 2 unit untuk *v-belt*, 3 unit untuk *pulley*, serta masing-masing 1 unit untuk *spindle bearing*, *thrust bearing* dan *gear shaft*. Penerapan usulan menurunkan total ongkos persediaan dari Rp15.722.741,67 menjadi Rp14.014.474,04, sehingga diperoleh penghematan sebesar Rp1.708.267,63 atau 10,86%. Dengan demikian, kombinasi perawatan pencegahan dan *joint*



replenishment mampu meningkatkan efisiensi biaya serta membuat pengendalian persediaan komponen lebih terstruktur.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, metode *age replacement* menghasilkan interval penggantian pencegahan optimal untuk komponen kritis mesin *milling*, yaitu *v-belt* 75 hari, *pulley* 91 hari, *spindle bearing* 183 hari, *thrust bearing* 175 hari dan *gear shaft* 147 hari. Selanjutnya, metode *joint replenishment* menghasilkan *basic cycle* sebesar 0,685 tahun dengan *inventory level* 3 unit untuk *v-belt* dan *pulley*, serta 1 unit untuk *spindle bearing*, *thrust bearing* dan *gear shaft*. *Safety stock* yang ditetapkan masing-masing sebesar 2, 3, 1, 1 dan 1 unit. Penerapan usulan menghasilkan total ongkos persediaan sebesar Rp14.014.474,04, lebih rendah dibandingkan kondisi perusahaan sebesar Rp15.722.741,67, sehingga diperoleh penghematan Rp1.708.267,63 atau 10,86%.

PT Daya Inovasi Mandiri disarankan menerapkan jadwal *preventive maintenance* berdasarkan interval optimal metode *age replacement* agar penggantian komponen dilakukan sebelum terjadi kerusakan. Selain itu, perusahaan disarankan menerapkan *periodic review joint replenishment* berdasarkan interval pemesanan, *inventory level* dan *safety stock* yang telah diperoleh untuk menjaga ketersediaan komponen kritis. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan metode *age replacement* dengan metode *preventive maintenance* lainnya serta membandingkan *periodic review joint replenishment* dengan metode pengendalian persediaan multi-item *single supplier* lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- A.K Govil (1983) : *Reliability Engineering*, TATA McGraw-Hill Publishing Company.
- Bahagia, S. N. (2006). *Sistem Inventori*. Bandung: ITB.
- Dhillon, B.S. (2002). *Engineering Maintenance A Modern Approach*. Florida: CRC Press LLC.
- Dio, A. D., Mz, H., Tamalika, T., Tridinanti, U., Pendahuluan, A., & Teori, B. L. (2023). *Penerapan Metode Age Replacement pada Usulan Jadwal Preventive Maintenance Mesin Dump Truck di Pt . BSE Bayung*. 06(01), 57-65.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Eynan, A., & Kropp, D. H., (1998). *Periodic Reviewed Joint Replenishment in Stochastic Demand Environment*. IIE Transaction, Washington.



- Fogarty, R. (1991). *The Mindful School: How to Integrate the Curricula*. Palatine: Skylight Publishing.
- Hadley, G. and Whitin, T. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Harris, F.W. (1913). *How Many Parts to Make at Once*. Factory, the Magazine of Management, 10, 135-136.
- Hidayat, T. P., Sugioko, A., Siagian, V. S., Angela, M., Sukwadi, R., & Wahju, M. B. (2023). *Metris Perancangan Jadwal Penggantian dan Persediaan Komponen Mesin Cutting*. 24, 99-104.
- Izzuddin, A. F., Donoriyanto, D. S., Jl, A., Rungkut, R., & Anyar, G. (2023). *Analisis Pengendalian Persediaan Bahan Baku Serbuk Warna dengan Pendekatan Periodic Review Joint Replenishment untuk Sistem Persediaan Stokastik di PT XYZ Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur*
- Jardine, A. (1973). *Maintenance, Replacement, and Reliability*. Canada: Pitman Publishing.
- Kapur, K.C. and Lamberson, L.R. (1977). *Reliability in Engineering Design*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Lewis, E.E. (1987). *Introduction to Reliability Engineering*, Canada: John Wiley and Sons.
- L. R. Higgins and R. K. Mobley, *Maintenance Engineering Handbook*, Sixth. McGraw-Hill, 2001.
- Mobley, R.K. (2001). *An Introduction to Predictive Maintenance*. 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Portland: Productivity Press.
- Putri, R. (2025). *Perancangan Kebijakan Persediaan Pupuk Anorganik untuk Meminimasi Total Biaya Persediaan Menggunakan Metode Periodic Joint Replenishment pada PT XYZ*. 12(1), 1879-1884.
- Rachman, T., Watunglawar, D. N., Amperajaya, M. D., Adnan, R., & Sriwana, I. K. (2022). *Penentuan Interval Waktu Penggantian dan Perbaikan Komponen Kritis Mesin Bubut Type SS-850 di PT . Hamdan Jaya Makmur Dengan Metode Age Replacement*. 23, 52-61.
- Silver, E. A., Pyke, D.F., & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. New York: John Wiley & Sons.
- Supandi, 1990. "Manajemen Perawatan Industri". Bandung: Ganeca Exact.
- Tataluckyta, M., Giri, P., Kusuma, A., Andrawina, L., & Telkom, U. (2021). *Perancangan Sistem*



Persediaan Antibiotik pada Apotek untuk Meminimasi Total Biaya Persediaan Menggunakan Metode Periodic Joint Replenishment Inventory System Design Of Antibiotics In Pharmacy To Minimize. 8(5), 8287-8299.

Tersine, R. (1994). *Principles of Inventory and Materials Management*. New York: Prentice Hall, Inc.

Wahjudi, D., Tjitro, S., & Soeyono, R. (2019). Studi Kasus Peningkatan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Melalui Implementasi Total Productive Maintenance (TPM). Seminar Nasional Teknik Mesin IV, 30 Juni 2019, 121-131.