

Usulan Penjadwalan Maintenance Pada Mesin Turbin Menggunakan Metode Age Replacement DI PLTA Balambano PT. Vale Indonesia Tbk.

Nurul Husna Dwi Saputri^{1*}, Rahmaniah Malik², Takdir Alisyahbana³
^{*1,2,3}) Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia
Email: nurulhsnds@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 06 Januari 2024

Diperbaiki: 15 Februari 2024

Disetujui: 30 Maret 2023

ABSTRAK

PT. Vale Indonesia Tbk. adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan, khususnya pengolahan Nickel (Ni). Perusahaan ini pembangkit Listrik di PLTA Balambano (2x68.5 MW). Perawatan mesin yang biasa dilakukan oleh perusahaan hanya berupa *corrective maintenance* yaitu mengganti atau memperbaiki komponen saat terjadi kerusakan saja. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan waktu optimum penggantian pencegahan pada mesin turbin agar meminimalkan *downtime* pada mesin turbin. Sehingga digunakan metode *age replacement* untuk menghitung interval waktu penggantian komponen dengan memperhatikan umur pemakaian dari komponen tersebut. Hasil dari penelitian ini adalah ditemukannya nilai *mean time to failure* (MTTF) *wicket gate* adalah 2217,824 jam atau 92,41 hari yang artinya setelah beroperasi selama waktu MTTF tersebut komponen mungkin saja mengalami kerusakan kembali. Sehingga rekomendasi yang diberikan adalah dilakukan setiap penggantian selama 85 hari setelah beroperasi dan untuk waktu pemeriksaan dilakukan setiap 15 hari sekali.

Kata Kunci: Penjadwalan, Maintenance, Perawatan Mesin, Metode Age Replacement

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah Lisensi Internasional CC BY 4.0© JRSIM (2024)



PENDAHULUAN

Perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) adalah konsepsi dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas fasilitas/mesin agar dapat berfungsi dengan baik seperti kondisi awalnya [1]. Perawatan atau pemeliharaan ini meliputi kegiatan pengecekan, pelumasan dan perbaikan atas kerusakan yang ada serta penyesuaian atau komponen yang terdapat pada peralatan atau fasilitas tersebut [2]. Perawatan bertujuan untuk memelihara alat-alat, kelancaran pemakaian alat-alat produksi/mesin perkakas dan perlengkapannya, keamanan instalasi, efisiensi dari beberapa unit produksi, memperpanjang umur teknis mesin – gedung, alat-alat lain, untuk menciptakan kondisi kerja sebaik-baiknya, sekaligus mempertahankan kondisi sarana dalam perawatan [3].

Kegiatan pemeliharaan (*Maintenance*) dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) dan pemeliharaan perbaikan (*corrective maintenance*) [4].

PT. Vale Indonesia Tbk. adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan, khususnya pengolahan Nickel (Ni). Perusahaan ini memiliki tiga Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), diantaranya adalah PLTA Larona (2x65 MW + 1x68,5 MW), PLTA Balambano (2x68,5 MW), dan PLTA Karebbe (2x68,5 MW). Salah satu komponen utama pada PLTA sehingga dapat menghasilkan daya listrik selain generator ialah adanya Turbin. Tanpa adanya turbin untuk mendorong dan memutar bolang-baling digantikan oleh air untuk memutar turbin. Turbin akan mengkonversi energi potensial yang disebabkan gaya jatuh air menjadi kinetik. Maka dari itu turbin menjadi salah satu aspek penting dalam beroperasinya suatu unit Generator pada PLTA.

Proses produksi di PLTA bersifat continuous process, sehingga apabila salah satu mesin atau peralatan mengalami kerusakan/ kegagalan maka menyebabkan terhentinya keseluruhan fungsi. Kerusakan mesin/ peralatan secara tiba-tiba akan menjadi permasalahan di PLTA Balambano yang akan mengakibatkan terjadinya penghentian operasi (*downtime*), dan mengakibatkan proses produksi harus terhenti untuk melakukan perbaikan. Hal tersebut dikarenakan kegagalan atau kerusakan mesin dalam berproduksi.

Perawatan mesin yang biasa dilakukan oleh perusahaan hanya berupa *corrective maintenance* yaitu mengganti atau memperbaiki komponen saat terjadi kerusakan saja [5]. Mesin turbin pada PLTA Balambano ini terakhir melakukan penggantian unit pada tahun 2011, jadi sekarang umur mesin turbin sekitar 12 tahun. Komponen-komponen yang mengalami kerusakan pada mesin turbin terdiri dari, *Governor, Turbine Shaft, Wicket Gate, Creep Detector, dan Vibro Smart*. Adapun komponen yang mengalami kerusakan pada mesin turbin yaitu komponen *wicket gate*. Penyebab kerusakan adalah penggunaan mesin secara *continous* tanpa adanya tindakan perawatan secara rutin [6]. Untuk kerusakan pada mesin turbin terjadi beberapa kali *breakdown*. Terkhusus pada *wicket gate* mengalami penggantian *bushing wicket gate* sebanyak 12 kali dari april tahun 2021 hingga desember tahun 2022, hal ini mengakibatkan mesin turbin mengalami *breakdown* setiap dilakukannya penggantian atau perbaikan komponen/sparepart yang rusak [7].

Setiap kerusakan pada mesin memang tidak dapat diketahui secara pasti kapan terjadinya. Oleh sebab itu, diperlukan suatu tindakan perawatan mesin/ peralatan untuk dapat mencegah terjadinya kerusakan [8]. Strategi yang tepat untuk menjaga mesin agar dapat beroperasi secara kontinyu salah satu caranya dengan menentukan interval waktu perawatan peralatan secara optimal dengan tujuan meminimasi *downtime* sebagai dampak memperlancar proses produksi [9].

Sehingga dari permasalahan tersebut penelitian ini menggunakan metode *preventive maintenance* untuk penjadwalan maintenance pada mesin turbin. Metode *Preventive Maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal [10]. Umumnya secara periodic, di mana sejumlah kegiatan seperti inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian, dan penyamaan dilakukan [11]. Menurut Patrick, *preventive maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produk mengalami kerusakan pada waktu proses produksi.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan waktu optimum penggantian pencegahan pada mesin turbin agar meminimalkan *downtime* pada mesin turbin.

METODE PENELITIAN

Dalam proses analisis data terdapat 4 tahap, yaitu pertama penentuan mesin kritis, selanjutnya kedua yaitu menentukan distribusi data antar waktu kerusakan dan distribusi waktu perbaikan. Lalu pada tahap ketiga yaitu menentukan *mean time to failure* (MTTF) dan *mean time to repair* (MTTR). Dan terakhir yaitu menghitung waktu pergantian mesin turbin di PT. Vale Tbk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Komponen Kritis

Berikut merupakan penentuan mesin kritis dengan *downtime* terbesar sebesar 425,5 jam atau 65,56% dari persentase *downtime* kumulatif pada mesin Turbin.

4.2 Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Kerusakan (*Time to Failure*)

Data diambil dari mulai kerusakan (*failure strat time*) sampai selesai diperbaiki (*finish repair time*). Berikut tabel *Time To Failure* (TTF) untuk komponen wicket gate.

Tabel 1. *Time to Failure* (TTF) untuk Komponen Wicket Gate

Wicket Gate				
No	Tanggal	Mulai Downtime	Selesai Downtime	TTF
1	08/04/2021	07:00:00	15:00:00	0,0
2	26/04/2021	06:00:00	18:00:00	423
3	27/04/2021	07:00:00	18:00:00	13
4	29/11/2021	07:00:00	19:00:00	5173
5	30/11/2021	07:00:00	19:00:00	12
6	01/12/2021	07:00:00	19:00:00	12
7	05/12/2021	07:00:00	19:00:00	84
8	12/12/2021	07:00:00	20:00:00	156
9	15/12/2021	07:00:00	19:30:00	59
10	16/08/2022	07:00:00	15:00:00	5867,5
11	18/08/2022	07:00:00	15:30:00	40
12	04/12/2022- 17/12/2022	07:00:00	19:30:00	2895,5

Tabel 2. *Time to Failure* Distribusi Eksponensial

Wicket Gate							
i	ti (jam)	xi = ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	12	12,00	0,0614	0,0634	0,7604	144,00	0,00402
2	12	12,00	0,1491	0,16	1,94	144,00	0,026
3	13	13,00	0,2368	0,27	3,51	169,00	0,073
4	40	40,00	0,3246	0,39	15,70	1600,00	0,154
5	59	59,00	0,4123	0,53	31,36	3481,00	0,282
6	84	84,00	0,5000	0,69	58,22	7056,00	0,480
7	156	156,00	0,5877	0,89	138,22	24336,00	0,785
8	423	423,00	0,6754	1,13	475,99	178929,00	1,266
9	2895,5	2895,50	0,7632	1,44	4170,57	8383920,25	2,075
10	5173	5173,00	0,8509	1,90	9844,14	26759929,00	3,621
11	5867,5	5867,50	0,9386	2,79	16372,02	34427556,25	7,786
Total	14735	14735	5,5	10,25716	31112,434	69787264,5	16,55312
Index of Fit						0,9289	

Tabel 3. *Time to Failure* Distribusi Lognormal

<i>Wicket Gate</i>							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	zi	xi * zi	xi ²	zi ²
1	12	2,48	0,0614	-1,46	-3,63	6,17	2,132
2	12	2,48	0,1491	-0,96	-2,39	6,17	0,922
3	13	2,56	0,2368	-0,68	-1,74	6,58	0,462
4	40	3,69	0,3246	-0,35	-1,29	13,61	0,123
5	59	4,08	0,4123	-0,18	-0,73	16,63	0,032
6	84	4,43	0,5000	0,19	0,84	19,63	0,036
7	156	5,05	0,5877	0,38	1,92	25,50	0,144
8	423	6,05	0,6754	0,54	3,27	36,57	0,292
9	2895,5	7,97	0,7632	0,88	7,01	63,54	0,774
10	5173	8,55	0,8509	1,16	9,92	73,12	1,346
11	5867,5	8,68	0,9386	1,66	14,40	75,29	2,756
Total	14735	56,0285	5,5	1,18	27,581607	342,818	9,0182
Index of Fit						0,9545	

Tabel 4. *Time to Failure* Distribusi Weibull

<i>Wicket Gate</i>							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi ²	yi ²
1	12	2,4849	0,0614	-2,759	-6,86	6,1748	7,611
2	12	2,48	0,1491	-1,82	-4,53	6,17	3,325
3	13	2,56	0,2368	-1,31	-3,36	6,58	1,712
4	40	3,69	0,3246	-0,94	-3,45	13,61	0,875
5	59	4,08	0,4123	-0,63	-2,58	16,63	0,399
6	84	4,43	0,5000	-0,37	-1,62	19,63	0,134
7	156	5,05	0,5877	-0,12	-0,61	25,50	0,015
8	423	6,05	0,6754	0,12	0,71	36,57	0,014
9	2895,5	7,97	0,7632	0,36	2,91	63,54	0,133
10	5173	8,55	0,8509	0,64	5,50	73,12	0,414
11	5867,5	8,68	0,9386	1,03	8,90	75,29	1,053
Total	14735	56,0285	5,5	-5,792888	-4,976254	342,818	15,68452
Index of Fit						0,9106	

Tabel dibawah ini merupakan hasil dari *Index Of Fit* pada 3 distribusi yaitu distribusi Eksponensial, Log Normal dan *Weibull* sebagai berikut:

Tabel 5. *Index of Fit Time to Failure*

No	Distribusi	Index Of Fit
1	Eksponensial	0,9289
2	LogNormal	0,9545
3	Weibull	0,9106
No	Distribusi	Index Of Fit
1	Eksponensial	92,89%
2	LogNormal	95,45%
3	Weibull	91,06%

Dari tabel diatas maka didapat nilai terbesar dari hasil *Index Of Fit* yaitu distribusi Log Normal dengan nilai *Index Of Fit* sebesar 95,45%. Distribusi yang dipilih yaitu distribusi Weibull.

4.3 Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Perbaikan (*Time to Repair*)

Selanjutnya saat komponen kritis sudah diketahui maka menentukan jarak antar kerusakan pada komponen *Wicket Gate* sebagai berikut:

Tabel 6. *Time to Repair* Komponen *Wicket Gate*

No	Tanggal	Jadwal Awal Kerusakan	Jadwal Akhir Kerusakan	TTR (Jam)
1	08/04/2021	07:00:00	15:00:00	8
2	26/04/2021	06:00:00	18:00:00	12
3	27/04/2021	07:00:00	18:00:00	11
4	29/11/2021	07:00:00	19:00:00	12
5	30/11/2021	07:00:00	19:00:00	12
6	01/12/2021	07:00:00	19:00:00	12
7	05/12/2021	07:00:00	19:00:00	12
8	12/12/2021	07:00:00	20:00:00	13
9	15/12/2021	07:00:00	19:30:00	12,5
10	16/08/2022	07:00:00	15:00:00	8
11	18/08/2022	07:00:00	15:30:00	8,5
12	04/12/2022-17/12/2022	07:00:00	19:30:00	331,5

Tabel 7. *Time to Repair* Distribusi Eksponensial

<i>Wicket Gate</i>							
i	ti (jam)	xi = ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	8	8,00	0,0565	-2,8455	-22,7637	64,00	8,09663
2	8	8,00	0,1371	-1,9142	-15,31	64,00	3,664
3	8,5	8,50	0,2177	-1,4042	-11,94	72,25	1,972
4	11	11,00	0,2984	-1,0374	-11,41	121,00	1,076
5	12	12,00	0,3790	-0,7413	-8,90	144,00	0,550
6	12	12,00	0,4597	-0,4852	-5,82	144,00	0,235
7	12	12,00	0,5403	-0,2520	-3,02	144,00	0,064
8	12	12,00	0,6210	-0,0303	-0,36	144,00	0,001
9	12	12,00	0,7016	0,1901	2,28	144,00	0,036
10	12,5	12,50	0,7823	0,4216	5,27	156,25	0,178
11	13	13,00	0,8629	0,6867	8,93	169,00	0,472
12	331,5	331,50	0,9435	1,0558	350,01	109892,25	1,115
Total	452,5	452,5	6	-6,355915	286,95629	111258,75	17,45849
Index of Fit						0,4571	

Tabel 8. *Time to Repair* Distribusi Lognormal

<i>Wicket Gate</i>							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	zi	xi * zi	xi^2	zi^2
1	8	2,08	0,056	-1,59	-3,31	4,32	2,528
2	8	2,08	0,137	-1,09	-2,27	4,32	1,188
3	8,5	2,14	0,218	-0,78	-1,67	4,58	0,608
4	11	2,40	0,298	-0,53	-1,27	5,75	0,281
5	12	2,48	0,379	-0,31	-0,77	6,17	0,096
6	12	2,48	0,460	-0,10	-0,25	6,17	0,010
7	12	2,48	0,540	0,29	0,72	6,17	0,084
8	12	2,48	0,621	0,49	1,22	6,17	0,240
9	12	2,48	0,702	0,67	1,66	6,17	0,449
10	12,5	2,53	0,782	0,82	2,07	6,38	0,672
11	13	2,56	0,863	1,10	2,82	6,58	1,210
12	331,5	5,80	0,944	1,61	9,34	33,68	2,592
Total	452,5	32,0157	6	0,58	8,307646	96,49211061	9,9592
Index of Fit						0,6446	

Tabel 9. *Time to Repair* Distribusi Weibull

Wicket Gate							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi ²	yi ²
1	8	2,08	0,06	-2,85	-5,92	4,32	8,10
2	8	2,08	0,14	-1,91	-3,98	4,32	3,664
3	8,5	2,14	0,22	-1,40	-3,01	4,58	1,972
4	11	2,40	0,30	-1,04	-2,49	5,75	1,076
5	12	2,48	0,38	-0,74	-1,84	6,17	0,550
6	12	2,48	0,46	-0,49	-1,21	6,17	0,235
7	12	2,48	0,54	-0,25	-0,63	6,17	0,064
8	12	2,48	0,62	-0,03	-0,08	6,17	0,001
9	12	2,48	0,70	0,19	0,47	6,17	0,036
10	12,5	2,53	0,78	0,42	1,06	6,38	0,178
11	13	2,56	0,86	0,69	1,76	6,58	0,472
12	331,5	5,80	0,94	1,06	6,13	33,68	1,115
Total	452,5	32,0157	6	-6,355915	-9,7132874	96,49211061	17,45849
Index of Fit					0,5799		

Tabel dibawah ini merupakan hasil dari *Index Of Fit* pada 3 distribusi yaitu distribusi Eksponensial, Log Normal dan Weibull sebagai berikut:

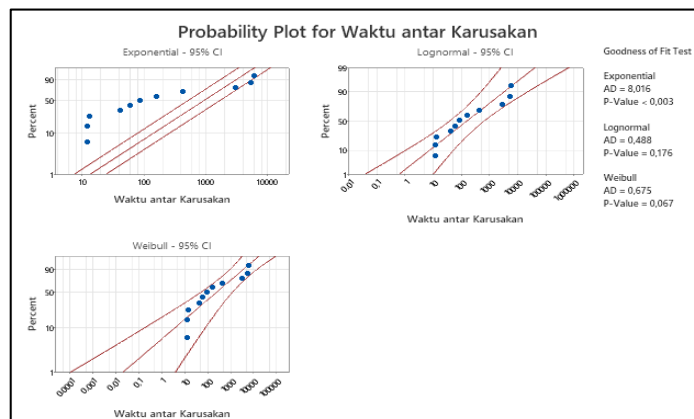
Tabel 10. *Index of Fit Time to Repair*

No	Distribusi	Index Of Fit
1	Eksponensial	0,4571
2	LogNormal	0,6446
3	Weibull	0,5799
No	Distribusi	Index Of Fit
1	Eksponensial	45,71%
2	LogNormal	64,46%
3	Weibull	57,99%

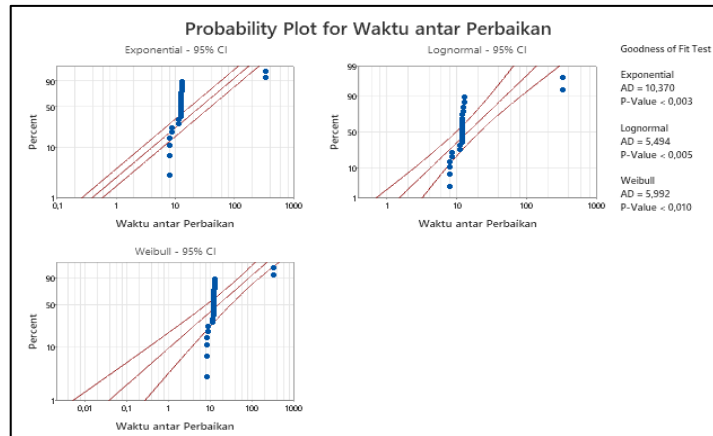
4.4 Uji Goodness of Fit TTF Wicket Gate

Goodness of fit tes ini dilakukan berdasarkan nilai index of fit terbesar di mana distribusi yang terpilih adalah distribusi lognormal dan dimaksudkan untuk mengetahui apakah data yang ada telah membentuk suatu distribusi tertentu.

Untuk pengujian distribusi lognormal Komponen Wicket Gate sendiri dilakukan dengan menggunakan software Minitab ver. 21 agar lebih memudahkan.



Gambar 1. Plot TTF Wicket Gate Software Minitab 21



Gambar 2. Plot TTR Wicket Gate Software Minitab 21

Tabel 11. *Distribution ID Plot: Waktu Kerusakan dan perbaikan Wicket Gate*

Goodness of Fit Test			Goodness of Fit Test		
Distribution	AD	P	Distribution	AD	P
Exponential	8,016	<0,003	Exponential	10,370	<0,003
Lognormal	0,488	0,176	Lognormal	5,494	<0,005
Weibull	0,675	0,067	Weibull	5,992	<0,010

Dengan nilai AD terkecil 0,488 dan nilai P terbesar 0,176 maka menurut Minitab data TTF komponen Wicket Gate berdistribusi lognormal.

4.5 Menghitung Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Wicket Gate

Tabel 13. Interval Waktu Penggantian Pencegahan Pada Komponen Wicket Gate

tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	Tp*R(tp)	Tf*F(tp)	tp+Tp	D(tp)
1100	0,71864	0,28136	7882,43	5,7491	6,43227	1108	0,004033
1150	0,72323	0,27677	8013,13	5,78581	6,32736	1158	0,003956
1200	0,80925	0,27235	8143,19	5,82117	6,2263	1208	0,003882
1250	0,73191	0,26809	8272,62	5,85526	6,12889	1258	0,003811
1300	0,73602	0,26398	8401,43	5,88815	6,03492	1308	0,003742
1350	0,73999	0,26001	8529,64	5,91989	5,94421	1358	0,003675
1400	0,80617	0,25618	8657,28	5,95056	5,85657	1408	0,003610
1450	0,74753	0,25247	8784,35	5,98021	5,77185	1458	0,003547
1500	0,75111	0,24889	8910,89	6,00889	5,68989	1508	0,003486
1550	0,75458	0,24542	9036,9	6,03665	5,61055	1558	0,003427
1600	0,757942	0,24206	9162,4	6,06354	5,5337	1608	0,003369
1650	0,812337	0,2388	9287,42	6,08961	5,45921	1658	0,003314
1700	0,764368	0,23564	9411,96	6,11489	5,38697	1708	0,003259
1750	0,767432	0,23257	9536,05	6,13942	5,31687	1758	0,003207
1800	0,770467	0,2296	9659,7	6,16324	5,24881	1808	0,003156
1850	0,773326	0,2267	9782,93	6,18637	5,1827	1858	0,003106
1900	0,804636	0,19536	11352,3	6,43709	4,46625	1908	0,002902
1950	0,822966	0,17703	12527,7	6,58373	4,04719	1958	0,002773
2000	0,826193	0,17381	12760,3	6,60954	3,97342	2008	0,002727
2050	0,840595	0,15941	13913,1	6,72476	3,64418	2058	0,002624

tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	Tp*R(tp)	Tf*F(tp)	tp+Tp	D(tp)
2100	0,786608	0,21339	10393,2	6,29286	4,87838	2108	0,002879
2150	0,789063	0,21094	10514,2	6,31251	4,82225	2158	0,002837
2200	0,791456	0,20854	10634,8	6,33165	4,76755	2208	0,002796
2250	0,793789	0,20621	10755,1	6,35031	4,71421	2258	0,002756

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat diketahui nilai $D(tp)$ yang paling kecil adalah pada interval 2050 Jam atau 85 Hari dengan nilai downtime 0,002624. Sehingga interval waktu penggantian pencegahan komponen Wicket Gate pada mesin Mesin Turbin dilakukan pada hari ke 85.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan pada PLTA Balambano PT. Vale Indonesia Tbk, nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) *wicket gate* adalah 2217,824 jam atau 92,41 hari yang artinya setelah beroperasi selama selang waktu MTTF tersebut komponen yang mungkin saja akan mengalami kerusakan kembali. Untuk mencegah kerusakan itu yang akan menyebabkan *breakdown* hingga menimbulkan *downtime* yang lebih lama maka didapatkan jadwal penggantian pencegahan dan jadwal pemeriksaan pada komponen *wicket gate*, untuk jadwal penggantian pencegahan pada komponen *wicket gate*, dilakukan setiap penggantian selama 85 hari setelah beroperasi, dan untuk waktu pemeriksaan dilakukan setiap 15 hari sekali.

UCAPAN TERIMA KASIH

Untuk ucapan terima kasih, penulis tujuan kepada PLTA Balambano PT. Vale Tbk. sebagai tempat penelitian dalam penelitian ini, sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian dengan baik.

REFERENSI

- [1] Fikri, N. A., & Widjajati, E. P. (2020). Penentuan Interval Perawatan Mesin Air Separation Plant Secara Preventive Downtime Maintenance Dengan Menggunakan Metode Age Replacement Pada Pt. Xyz. *Juminten*, 1(3), 153–164. <https://doi.org/10.33005/juminten.v1i3.114>
- [2] Haq, M. I., & Riandadari, D. (2019). Penentuan Penjadwalan Preventive Maintenance Pada Komponen Mesin Callender Di Pt . Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim. *JPTM*, 09(1), 8–16.
- [3] Setyawan, H. P., & Nazi, B. (2022). Proses Penjadwalan Perawatan Mesin Amplas Duduk. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1), 1–12. <http://ejournal.polraf.ac.id/index.php/JTM/article/view/140>
- [4] Setiawannie, Y., & Marikena, N. (2022). Perencanaan Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin Pouch dengan Critical Path Method di PT. Grafika Nusantara. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(1), 1-10.
- [5] Firdaus, M., & Wulandari, D. (2021). Preventive Maintenance Mesin Printing Rotogravure Pada Komponen Press Roll Dengan Metode Age Replacement Sebagai Pengoptimalan Biaya Downtime Di PT . X Muhamad Firdaus Diah Wulandari. *JTM*, 9(2), 63–68.
- [6] Sulisty, A. B., & Mutiawati, S. H. (2021). Usulan jadwal preventive maintenance komponen ban pada truk tronton 20.000 kl menggunakan metode age replacement. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 7(2), 137-146.
- [7] Padhil, A., Mail, A., & Jannah, M. (2023). Maintenance Analysis Of Swd 1 Machine Using Reliability Centered Maintenance (RCM) Method At PLTD TELLO. *Jurnal Manajemen Rekayasa dan Inovasi Bisnis*, 2(1), 50-59.
- [8] Herdianzah, Y., Ahmad, A., Saleh, A., & Syukur, A. (2022). Pengaruh Penerapan Warehouse Management System Terhadap Kinerja Gudang Pada PTP Nusantara XIV Persero. *Metode: Jurnal Teknik Industri*, 8(2), 91-101.
- [9] Khaurullah, F., Hr, D. A., & Darmadi. (2022). Analisis Penentuan Waktu Kegiatan Perawatan Preventif Yang Tepat Bagi Mesin Produksi Glasstube Lampu 2U Sesuai Keandalannya (Studi Kasus : PT . Panca Aditya Sejahtera). *Jurnal Teknik Industri*, 25(1), 52–75.

- [10] Malik, R., Rauf, N., Alisyahbana, T., Ahmad, A., & Fole, A. (2024). Scheduling Maintenance Proposal For Turbine Machines Using The Age Replacement Method At Balambano Hydroelectric Power Plant PT. Vale Indonesia Tbk. *Journal of Industrial Engineering Management*, 9(1), 69-76.
- [11] Umurani, Siregar, A. M., & Al-Amin, S. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 3(2), 103–111. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5272>