



Penentuan Interval Waktu Optimal Perawatan Preventif Komponen Kritis di Mesin Kiln Putar Industri Ubin Keramik

David Andrian^{1*}, Nyoman Sri Widari², Aulia Patricia Dellaross Tentua³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Darma Cendika

*Korespondensi Penulis, E-mail: david.andrian@ukdc.ac.id

Abstract

PT Katingan Inmas Sarana is a ceramic tile manufacturing industry. In its production process, the main machine used is a rotary kiln as many as 4 units as a heating furnace. So far, the maintenance of this kiln has been carried out in a corrective manner, namely when damage has occurred. The weakness of this maintenance method is the risk of unavailability of technicians, spare parts, or other technical support tools when the machine suddenly breaks down which causes longer downtime so that production capacity decreases. For this reason, a preventive maintenance plan was made that schedules in advance when the maintenance process will be carried out, both repairs and component replacements. The scheduled components are critical components with a cumulative downtime percentage of more than 80%. For kilns IA, IB, and IIB, the critical components are rolls and bearings, while for kiln IIA, the critical components are rolls, bearings, and burners. Scheduling preventive maintenance is done by finding the time interval (t_p) between maintenance that will result in a minimum total maintenance cost per unit of time. This means that critical components in each kiln for each type of damage will be maintained once every t_p period. Through the test of time distribution between component damages, and iterative cost calculation, the optimal time results between preventive maintenance for roll kiln IA are 199.25 hours and 558.5 hours, bearing kiln IA is 204.25 hours; roll kiln IB is 187.5 hours and 587 hours, bearing kiln IB is 262.5 hours; roll kiln IIA is 605.5 hours, bearing kiln IIA is 749 hours, burner kiln IIA is 518 hours; roll kiln IIB is 710 hours, and bearing kiln IIB is 598.75 hours.

Keywords: Optimal Time Interval, Kiln, Critical component, Corrective maintenance, Preventive maintenance

Abstrak

PT Katingan Inmas Sarana adalah industri manufaktur penghasil ubin keramik. Dalam proses produksinya, mesin utama yang dipakai adalah kiln putar sebanyak 4 unit sebagai tungku pemanas. Selama ini, perawatan kiln ini dilakukan secara korektif (*corrective maintenance*) yaitu saat kerusakan telah terjadi. Kelemahan metode perawatan ini adalah resiko ketidaktersediaan teknisi, *sparepart*, atau alat pembantu teknis lainnya saat mesin mendadak rusak yang menyebabkan waktu *downtime* lebih lama sehingga kapasitas produksi turun. Untuk itu, dibuatlah perencanaan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) yang menjadwalkan terlebih dahulu kapan proses perawatan akan dilakukan, baik perbaikan maupun penggantian komponen. Komponen yang dijadwalkan adalah komponen kritis dengan persentase *downtime* kumulatif selama ini mencapai lebih dari 80%. Untuk kiln IA, IB, dan IIB, komponen kritis adalah roll dan *bearing*, sedangkan untuk kiln IIA, komponen kritisnya adalah roll, *bearing*, dan *burner*. Penjadwalan *preventive maintenance* dilakukan melalui mencari interval waktu (t_p) antar perawatan yang akan menghasilkan total biaya perawatan per satuan waktu minimum. Artinya komponen kritis di tiap kiln untuk tiap jenis kerusakan akan dirawat setiap periode waktu t_p sekali. Melalui uji distribusi waktu antar kerusakan komponen, dan perhitungan biaya secara iteratif diperoleh hasil waktu optimal antar *preventive maintenance* untuk roll kiln IA adalah 199,25 jam dan 558,5 jam, *bearing* kiln IA adalah 204,25 jam; roll kiln IB adalah 187,5 jam dan 587 jam, *bearing* kiln IB adalah 262,5 jam; roll kiln IIA adalah 605,5 jam, *bearing* kiln IIA adalah 749 jam, *burner* kiln IIA adalah 518 jam; roll kiln IIB adalah 710 jam, dan *bearing* kiln IIB adalah 598,75 jam.

Kata kunci: Interval waktu optimal, Kiln, Komponen kritis, Perawatan korektif, Perawatan preventif



1. Pendahuluan

Hal penting yang harus diperhatikan suatu industri manufaktur dalam menjaga kelancaran sistem produksinya adalah menjamin ketersediaan fasilitas produksinya. Salah satu fasilitas produksi terpenting di sini adalah mesin. Keandalan dan ketersediaan mesin ini perlu ditunjang dengan kegiatan perawatan mesin. Perawatan merupakan kegiatan di dalam suatu sistem produksi dimana fungsinya berupa objek dengan cara pemeliharaan, perbaikan, penggantian, pembersihan, penyetelan, dan pemeriksaan. Oleh karena itu perawatan (*maintenance*) sangat penting untuk dilakukan guna menjaga stabilitas mesin terhadap produksi perusahaan [1]. Aktivitas perawatan yang tepat juga memegang peran penting dalam reliabilitas (keandalan) mesin karena dapat mempengaruhi ketidakpastian dalam kerusakan (*failure*) system, mengurangi biaya operasi sistem, dan meningkatkan umur fungsional dari sistem [2].

Secara umum, terdapat dua tipe utama aktivitas perawatan yaitu perawatan korektif (*corrective maintenance* - CM) dan perawatan preventif (*preventive maintenance* - PM). CM terjadi saat mesin telah gagal beroperasi sehingga tidak terjadwal dan tidak dapat diprediksi kegiatannya, sedangkan PM dilakukan secara terjadwal dengan tujuan meminimasi kerugian karena kerusakan mendadak [3]. PM yang tepat dapat menjadi solusi yang efektif untuk menurunkan probabilitas kegagalan mesin [4]. Dalam banyak problem perawatan mesin di industri manufaktur, penerapan model PM dapat meningkatkan reliabilitas sistem produksi baik melalui penurunan total biaya perawatan maupun peningkatan persentase ketersediaan mesin. Total biaya perawatan untuk PM juga lebih rendah bila dibandingkan CM untuk komponen dan jangka waktu yang sama [5]. Selain itu, penerapan PM berdasarkan umur optimal komponen kritis mesin mampu meningkatkan persentase ketersediaan (% *availability*) [6].

Untuk merencanakan PM yang optimal, yang menjadi masalah adalah seberapa sering atau dalam interval waktu berapa lama suatu mesin/komponen harus diperbaiki. Bila mesin jarang dirawat demi tingkat *availability* yang tinggi, maka keandalan mesin cenderung turun dan meningkatkan peluang kerusakan yang berujung biaya lebih tinggi saat kerusakan terjadi. Namun apabila mesin terlalu sering dirawat, akan juga meningkatkan biaya perawatan dan menurunkan tingkat *availability*. Karena itu, perlu ada *trade off* di antara kedua hal tersebut. Dengan demikian, interval waktu optimal untuk PM dapat dioptimalkan jika *availability* sistem maksimal sekaligus fungsi biaya perawatannya minimum [7].

PT Katingan Inmas Sarana adalah industri manufaktur penghasil ubin keramik dengan berbagai varian produk. Salah satu mesin produksi utama dalam industri ini adalah kiln putar yang berfungsi sebagai tungku pemanggangan bahan ubin sampai suhu tinggi sebelum diproses lebih lanjut. Dalam kiln putar ini terdapat beberapa komponen yang berpengaruh terhadap performa mesin. Kerusakan komponen kritis tersebut dapat menyebabkan kiln putar berhenti beroperasi. Selama ini, lebih dari 80% kegiatan perawatan di mesin kiln putar ini hanya dilakukan setelah terjadi kerusakan pada kiln. Saat kejadian ini terjadi, proses perbaikan atau penggantian komponen dapat berlangsung hingga beberapa hari apabila *sparepart* pengganti atau sumber daya manusia yang dibutuhkan tidak sedang tersedia langsung. Hal ini menyebabkan menurunnya kapasitas produksi perusahaan sehingga kemampuan perusahaan untuk memenuhi permintaan produk di pasaran juga berkurang. Untuk itu, perlu diupayakan perencanaan PM yang mampu membantu perusahaan untuk mengelola sistem manajemen perawatan mesinnya dengan optimal.



2. Landasan Teori

Perencanaan PM yang optimal dapat dilakukan melalui serangkaian analisis kuantitatif statistik dan biaya seperti penetapan fungsi reliabilitas, fungsi kerusakan, dan perhitungan total biaya PM [8].

2.1 Teori Keandalan (Reliabilitas)

Karena kerusakan sebuah mesin umumnya bersifat probabilistik, maka analisis manajemen perawatan erat kaitannya dengan konsep statistik. Di antaranya adalah fungsi waktu antar kerusakan, fungsi keandalan, dan fungsi kerusakan, yang akan didekati dengan distribusi statistik yang merupakan distribusi probabilitas kontinu (pdf) [11].

2.1.1 Fungsi Waktu Antar Kerusakan

Waktu antar kerusakan komponen/mesin dapat membentuk pola distribusi tertentu yang disebut $f(t)$. Distribusi yang umum antara lain distribusi Gamma, Weibull, Erlang, Eksponensial, dan lain sebagainya.

2.1.2 Fungsi Keandalan

Keandalan adalah probabilitas suatu komponen, peralatan, atau sistem mampu melakukan fungsinya selama periode waktu tertentu di bawah serangkaian kondisi tertentu seperti temperatur, tekanan, kecepatan, dll yang dapat mempengaruhi *life-time* komponen, peralatan, atau sistem tersebut. Fungsi keandalan suatu peralatan/komponen merupakan fungsi waktu pemakaiannya, yang secara statistik dirumuskan :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{Pers. 1}$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad \text{Pers. 2}$$

$R(t)$ = fungsi keandalan

$F(t)$ = fungsi distribusi kumulatif dari $f(t)$

2.1.3 Fungsi Kerusakan

Fungsi kerusakan $h(t)$, menggambarkan frekuensi kerusakan komponen/mesin per satuan waktu pada saat t . Fungsi kumulatif dari $h(t)$ disebut $H(t)$ yang dirumuskan :

$$H(t) = -\ln R(t) \quad \text{Pers. 3}$$

$H(t)$ = fungsi distribusi kumulatif dari $h(t)$

2.2 Pengujian Distribusi Data (*Goodness of Fit*)

Pengujian statistik ini dilakukan untuk menguji apakah kumpulan data tertentu merupakan sampel dari suatu distribusi tertentu. Secara umum, pengujian ini dibedakan lagi menjadi 2 jenis pengujian yaitu *Chi Square Test* dan *Kolmogorov-Smirnov Test* (KS-Test). *Chi Square Test* digunakan untuk menguji kesesuaian distribusi data diskrit, sedangkan KS-Test digunakan untuk menguji kesesuaian distribusi data kontinu. Dalam penelitian ini, pengujian yang digunakan adalah uji Kolmogorov Smirnov untuk data kontinu.

Uji Kolmogorov Smirnov mengukur tingkat kesesuaian antara distribusi serangkaian harga sampel dari suatu distribusi teoritis tertentu. Tes ini menguji apakah harga sampel dapat dianggap berasal dari populasi distribusi tertentu. Tes ini juga mencakup perhitungan distribusi kumulatif yang akan terjadi di bawah distribusi teoritis, serta membandingkannya dengan distribusi frekuensi kumulatif hasil observasi.



2.3 Model *Preventive Maintenance* untuk Minimasi Total Biaya

Biaya perawatan dibedakan menjadi biaya perawatan korektif (C_f) dan biaya perawatan preventif (C_p). Biaya perawatan korektif merupakan rata-rata biaya yang dikeluarkan untuk sekali perawatan korektif, yang terdiri dari biaya penggantian/perbaikan komponen dan biaya waktu/kapasitas produksi yang hilang akibat mesin dirawat (*production loss*). Biaya perawatan preventif merupakan rata-rata biaya yang dikeluarkan untuk sekali perawatan preventif, yang juga terdiri dari biaya perbaikan komponen dan biaya *production loss*.

R = harga beli komponen Pers. 4
 R = biaya penggantian/perbaikan komponen

$PL = D \times K \times P \times (1 - C)$ Pers. 5
 PL = biaya *production loss*
 D = waktu *downtime*
 K = kapasitas produksi per unit waktu
 P = profit per unit
 C = persentase cacat produk

Waktu *downtime* berbeda untuk CM dan PM dan tergantung dari apakah komponen dapat diperbaiki atau harus diganti. Bila komponen dapat diperbaiki, maka waktu *downtime* adalah sebesar waktu bongkar dan pasang komponen (waktu penggantian) ditambah dengan waktu perbaikan dan waktu *setup* mesin hingga siap beroperasi kembali. Sedangkan apabila komponen tidak dapat diperbaiki, maka waktu *downtime* adalah sebesar waktu bongkar komponen lama dan pemasangan komponen baru (waktu penggantian) ditambah dengan waktu *setup* mesin hingga siap beroperasi kembali. Rata-rata waktu *downtime* untuk PM lebih kecil atau maksimal sama dengan waktu *downtime* untuk CM karena kesiapan teknisi, *sparepart*, dan peralatan pembantu selama proses perbaikan yang sudah diperhitungkan sebelumnya.

$C_f = C_p = R + PL$ Pers. 6
 C_p = biaya per perawatan preventif (PM)
 C_f = biaya per perawatan korektif/*failure* (CM)

Penentuan interval waktu optimal (t) untuk melakukan PM dengan tujuan meminimumkan total biaya per satuan waktu dapat dirumuskan : [2], [11]

$C(t) = \frac{C_p + C_f H(t)}{t}$ Pers. 7
 $C(t)$ = fungsi biaya untuk interval waktu PM sebesar t
 t = interval waktu PM

3. Metode Penelitian

3.1 Jenis dan Batasan Penelitian

Penelitian ini bersifat analisis secara kuantitatif yang menggunakan pengolahan data distribusi statistik untuk waktu antar kerusakan komponen menggunakan Stat::Fit pada ProModel, serta minimasi biaya secara iterative menggunakan Excel. Produk ubin keramik yang dibahas dibatasi pada 4 produk yang diproduksi secara rutin dan *mass production* (bukan *job order*). Produk tersebut antara lain ubin tipe bon-bon 2x10, dado 5x20, dado 8x26, dan flat 20x25. Mesin yang direncanakan untuk dilakukan PM adalah mesin kiln putar yaitu sebanyak 4 mesin (masing-masing 2 serial proses yang berjalan secara parallel). Untuk seterusnya, keempat mesin ini diberi nama kiln IA dan IB untuk kiln urutan proses pertama, dan kiln IIA dan IIB untuk kiln urutan proses kedua. Untuk tiap mesin, dicari komponen kritis dengan pareto untuk membatasi jumlah komponen



3.2 Tahapan Penelitian

3.2.1 Observasi Awal, Identifikasi Masalah, dan Studi Literatur

Observasi awal dilakukan melalui wawancara langsung dengan bagian produksi, perawatan, dan teknisi di perusahaan untuk mengetahui karakteristik manajemen perawatan, proses produksi, dan masalah riil yang terjadi. Dari observasi ini dan bersama-sama dengan studi literatur tentang metode dan model-model PM, ditentukan tujuan penelitian yaitu menentukan interval waktu optimal PM komponen kritis pada mesin kiln putar IA, IB, IIA, dan IIB yang dapat meminimumkan total biaya per satuan waktu.

3.2.2 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan antara lain adalah data komponen kritis kiln, data waktu antar kerusakan komponen kritis, data waktu *downtime* (perbaikan atau penggantian komponen), data kapasitas produksi kiln untuk tiap jenis produk, data jumlah produksi tiap jenis produk selama 1 tahun, data persentase cacat, data harga jual dan profit per unit untuk tiap jenis produk, dan data biaya perbaikan atau penggantian komponen.

3.2.3 Pengolahan Data, Analisis Hasil, dan Penarikan Kesimpulan

Mula-mula data waktu antar kerusakan diolah dengan Stat::Fit ProModel sehingga didapatkan distribusi statistik fungsi waktu antar kerusakan, $f(t)$, untuk tiap komponen kritis kiln. Distribusi ini kemudian diuji dengan Uji Kolmogorov-Smirnov untuk mengetahui distribusi mana yang paling fit dengan data kerusakan mesin [9]. Penentuan distribusi ini secara presisi juga dapat menentukan fungsi keandalan, $R(t)$ [10]. Langkah selanjutnya adalah menentukan biaya CM (C_f) yang terdiri dari penggantian/perbaikan komponen dan biaya *production loss*, serta biaya PM (C_p) yang terdiri dari perbaikan komponen dan biaya *production loss*. Kedua komponen biaya ini kemudian diiterasikan dengan nilai t_p berbeda-beda (setiap 15 menit atau 0,25 jam) dengan bantuan Excel, dan hasilnya dihitung melalui persamaan 4 untuk mendapatkan interval t_p yang meminimumkan $C(t)$

4. Hasil Penelitian

4.1 Komponen Kritis dan Jenis Perawatan

Dari data jumlah kerusakan tiap kiln, diperoleh kerusakan dominan yang ditetapkan sebagai komponen kritis yaitu : roll dan *bearing* untuk kiln IA dengan persentase *downtime* kumulatif mencapai 83,9%; roll dan *bearing* untuk kiln IB dengan persentase *downtime* kumulatif mencapai 88,8%; roll, *bearing*, dan *burner* untuk kiln IIA dengan persentase *downtime* kumulatif mencapai 96,2%; serta roll dan *bearing* untuk kiln IIB dengan persentase *downtime* kumulatif mencapai 81,2%. Jenis kerusakan dan aktivitas perawatannya apakah diperbaiki atau diganti dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Aktivitas Perawatan Komponen

| No | Komponen | Jenis Kerusakan | Aktivitas Perawatan |
|----|----------|---|---------------------------------------|
| 1 | Roll | <ul style="list-style-type: none"> Aus deformasi Aus <i>chain hoists</i> | Perbaikan Penggantian |
| 2 | Bearing | <ul style="list-style-type: none"> Kocak (tdk <i>balanced</i>) | Penggantian |
| 3 | Burner | <ul style="list-style-type: none"> Tersumbat Aus kontak tip (<i>fixed neck tube</i>) Separator aus | Perbaikan Perbaikan Penggantian |



4.2 Pengolahan Data Statistik

Dari data waktu antar kerusakan komponen kritis, diperoleh distribusi fungsi kerusakan $f(t)$ sebagai berikut.

Tabel 2. Distribusi Waktu Antar Kerusakan Komponen

| Komponen | Distribusi | Parameter | p-value |
|-------------------------------|--------------|--------------------------------|---------|
| Roll kiln IA Aus deformasi | Gamma | $\alpha = 3,59 ; \beta = 75,5$ | 0,997 |
| Roll kiln IA Chain hoists aus | Weibull | $\alpha = 3,36 ; \beta = 843$ | 0,993 |
| Bearing kiln IA | Erlang | $m = 13 ; \beta = 22,3$ | 0,856 |
| Roll kiln IB Aus deformasi | Pearson 5 | $\alpha = 6,17 ; \beta = 1620$ | 0,812 |
| Roll kiln IB Chain hoists aus | Erlang | $m = 6 ; \beta = 142$ | 0,995 |
| Bearing kiln IB | Log-logistic | $p = 4,4 ; \beta = 384$ | 0,901 |
| Roll kiln IIA Aus deformasi | Weibull | $\alpha = 2,62 ; \beta = 1000$ | 0,959 |
| Bearing kiln IIA | Weibull | $\alpha = 3,98 ; \beta = 1220$ | 0,957 |
| Burner kiln IIA Tersumbat | Erlang | $m = 4 ; \beta = 190$ | 0,808 |
| Roll kiln IIB Aus deformasi | Pearson 5 | $\alpha = 3,8 ; \beta = 2620$ | 0,718 |
| Bearing kiln IIB | Gamma | $\alpha = 9,98 ; \beta = 92,8$ | 0,996 |

Dari tabel 2, P value diperoleh dari menu autofit yang menunjukkan tingkat kesesuaian (*acceptance*) distribusi. Semakin tinggi nilai *acceptance*, maka semakin sesuai distribusinya dengan karakteristik data kerusakan komponen. Untuk tiap komponen dan jenis kerusakan diranking kesesuaian distribusinya dan hasil di atas adalah distribusi kerusakan yang paling fit, dilengkapi dengan parameter distribusinya masing-masing

Setelah ditemukan distribusi kerusakan, berikutnya dapat diiterasikan dengan Excel perhitungan biaya perawatan per satuan waktu $C(t)$ ke dalam persamaan 7 untuk mencari $C(t)$ yang paling minimal. Iterasi waktu t dilakukan setiap 15 menit atau 0,25 jam. Hasilnya ditampilkan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Interval Perawatan Preventif yang Optimal dengan Minimasi Biaya

| Komponen | t_p optimal (jam) | $C(t_p)$ (Rp) |
|-------------------------------|---------------------|---------------|
| Roll kiln IA Aus deformasi | 199,25 | 14.705,07 |
| Roll kiln IA Chain hoists aus | 558,5 | 4.971,43 |
| Bearing kiln IA | 204,25 | 9.055,65 |
| Roll kiln IB Aus deformasi | 187,5 | 11.454,06 |
| Roll kiln IB Chain hoists aus | 587 | 4.807,17 |
| Bearing kiln IB | 262,5 | 7.314,26 |
| Roll kiln IIA Aus deformasi | 605,5 | 6.033,96 |
| Bearing kiln IIA | 749 | 3.526,99 |
| Burner kiln IIA Tersumbat | 518 | 4.637,58 |
| Roll kiln IIB Aus deformasi | 710 | 6.158,23 |
| Bearing kiln IIB | 598,75 | 4.152,51 |



5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan pengolahan data pada bagian sebelumnya, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

1. Komponen kritis pada kiln IA, IB, dan IIB adalah roll dan *bearing*, sedangkan pada kiln IIA adalah roll, *bearing*, dan *burner* dengan prinsip pareto yang mempunyai persentase *downtime* kumulatif lebih dari 80% atau menjadi sumber kerusakan dominan.
2. Distribusi waktu antar kerusakan tiap komponen kritis dipilih berdasarkan jenis kerusakan dan keputusan perawatan (perbaikan atau penggantian). Distribusi dipilih berdasarkan uji KS-test dengan *acceptance* tertinggi.
3. Berdasarkan distribusi waktu kerusakan dan data biaya, diperoleh interval waktu PM yang membuat biaya paling minimum per jam untuk tiap komponen kritis, yang dapat dilihat pada tabel 3. Misalnya untuk komponen roll pada kiln IA, untuk mencegah kerusakan aus deformasi, maka sebaiknya dilakukan PM dengan interval setiap 199,25 jam sekali (199 jam 15 menit) setelah penggunaan operasional. Dengan skenario ini, diharapkan biaya perawatan per jam untuk jenis perawatan ini adalah sebesar Rp 14.705,07. Biaya ini adalah yang paling minimum yang menjadi *trade off* antara biaya karena kerusakan mendadak dan biaya karena frekuensi perawatan yang lebih awal dari seharusnya.
4. Untuk implementasi pelaksanaan PM ini, dapat dipertimbangkan membuat jadwal perawatan preventif gabungan. Jadwal gabungan ini adalah melakukan perawatan komponen-komponen yang ada dalam 1 mesin secara bersamaan apabila jadwal perawatannya relatif berdekatan waktunya dan jumlah teknisi mencukupi. Hal ini dapat mengurangi kerugian akibat *production loss* karena penghematan waktu *setup* dan *downtime*. Perencanaan penjadwalan preventif gabungan ini dapat menjadi ruang bagi penelitian selanjutnya terkait penjadwalan PM.

6. Daftar Pustaka

Jurnal:

- [1] Amelia M, Aspiranti. Analisis Pemeliharaan Mesin Conveyor Menggunakan Metode Preventive dan Breakdown Maintenance untuk Meminimumkan Biaya Pemeliharaan Mesin pada PT X. Jurnal Riset Manajemen dan Bisnis. 2021; 1(1): 1-9
- [2] Lee J, Kim B, Ahn S. Maintenance optimization for repairable deteriorating systems under imperfect preventive maintenance. Mathematics. 2019; 7(8)
- [3] De Jonge B, Scarf P. A review on maintenance optimization. European Journal of Operation Research. 2019; 9(47)
- [4] Darmawan A, Sheu D. Preventive Maintenance Scheduling : A simulation optimization approach. Production and Manufacturing Research. 2021; 9(1) : 281-298
- [5] Azizah N, Indriati S, Widuri R. Analisis repair maintenance policy dan preventive maintenance policy untuk meminimalkan total maintenance cost pada mesin pleating PT Duta Nichirindo Pratama. Jurnal Ekonomi, Bisnis, dan Akuntansi. 2021; 22(4): 404-420
- [6] Djunaidi, Mila F. Usulan Interval Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Pencetak Botol. Jurnal Teknik Gelagar. 2007; 18(1) : 33-41
- [7] Raghav Y, Mradula, Varshney R. Estimation and optimization for system availability under preventive maintenance. IEEE Access. 2022; 10 : 94337-94353



- [8] Azwir H, Wicaksono A, Oemar H. Manajemen Perawatan Menggunakan Metode RCM pada Mesin Produksi Kertas. Jurnal Optimasi Sistem Industri. 2020; 19(1): 12-21
- [9] Saini M, Sinwar D, Swaith A. Reliability and Maintainability Optimization of Load Haul Dump Machines using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 2023; 29(2): 356-376
- [10] KKarbasian M, Rostamkhani R. Achieving productive reliability through applying statistical distribution functions. International Journal of Quality and Reliability Management. 2020; 37(8): 1125-1149
- [11] JJardine, A.K., Maintenance, Replacement, and Reliability, Pitman Publishing ed, New York, John Wiley & Sons, Inc, 1987.