
Hazard Risk Analysis and Cathodic Maintenance Timing With Total Productive Maintenance Approach

Analisis Risiko Bahaya dan Penentuan Waktu Perawatan Katodik Dengan Pendekatan Total Productive Maintenance

Tegar Dzulfikar^{1*}, Wiwin Widiasih²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email: tegardzulfikar@gmail.com¹, wiwin_w@untag-sby.ac.id²

ABSTRAK

PT. XYZ adalah pemain utama dalam distribusi gas alam di Indonesia, dengan jaringan pipa yang luas menghubungkan sumber produksi dengan berbagai konsumen, termasuk rumah tangga, industri, dan pembangkit listrik. Jaringan ini memastikan pasokan gas yang efisien dan aman di seluruh wilayah, dengan kontrol distribusi yang baik untuk layanan yang andal. Namun, masalah korosi pada pipa dapat mengancam integritas sistem. Untuk mengatasinya, PT. XYZ menerapkan langkah pencegahan seperti pelapisan pelindung dan proteksi katodik. Analisis risiko dan perawatan terjadwal membantu mengurangi dampak korosi dan meminimalkan biaya perawatan. Temuan penelitian ini mengungkapkan bahwa perawatan yang optimal dapat ditetapkan dengan menganalisis potensi risiko melalui metode tertentu. Pendekatan memungkinkan identifikasi bahaya yang mungkin terjadi dan membantu dalam menentukan langkah-langkah perawatan yang paling efektif. Dengan demikian, organisasi dapat mengambil tindakan pencegahan yang tepat guna mengurangi risiko dan memastikan pemeliharaan yang efisien. Total Productive Maintenance TPM, yang merekomendasikan perawatan dilakukan setiap 3 hari sekali berhasil menurunkan biaya perawatan PT. XYZ Sebelumnya, perusahaan mengeluarkan biaya perawatan dari Rp. 60.600.000 menjadi Rp. 55.200.000 per bulan dengan efisiensi sebesar 9,78% melalui analisis anggaran perawatan. Dengan tindakan pencegahan yang tepat, PT. XYZ memastikan pemeliharaan yang efisien untuk menjaga kelancaran distribusi gas alam secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Analisis Risiko, Total Productive Maintenance, Perawatan terbaik, Biaya Siklus Hidup

ABSTRACT

PT. XYZ is a major player in natural gas distribution in Indonesia, with an extensive pipeline connecting production sources with a wide range of consumers, including households, industries, and power plants. The network ensures an efficient and safe gas supply throughout the region, with good distribution control for reliable service. However, corrosion problems in pipes can threaten the integrity of the system. To overcome this, PT. XYZ implements precautions such as protective coating and cathodic protection. Risk analysis and scheduled maintenance help reduce the impact of corrosion and minimize maintenance costs. The findings of this study reveal that optimal treatment can be established by analyzing potential risks through certain methods. The approach allows for the identification of possible hazards and helps in determining the most effective treatment measures. Thus, organizations can take appropriate precautions to reduce risks and ensure efficient maintenance. Total Productive Maintenance TPM, which recommends that maintenance be carried out every 3 days, has succeeded in reducing the maintenance cost of PT. XYZ Previously, the company incurred maintenance costs from Rp. 60,600,000 to Rp. 55,200,000 per month with an efficiency of 9.78%

Analisis Risiko Bahaya dan Penentuan Waktu Perawatan Katodik Dengan Pendekatan Total Productive Maintenance/ Tegar Dzulfikar, Wiwin Widiasih

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2024 Tegar Dzulfikar, Wiwin Widiasih

through the analysis of the maintenance budget. With the right precautions, PT. XYZ ensures efficient maintenance to maintain the smooth distribution of natural gas in a sustainable manner.

Keywords: Risk Analyst, Total Productive Maintenance, Best Maintenance, Life Cycle Cost

PENDAHULUAN

Salah satu badan usaha milik negara yang terletak di Surabaya, menyajikan dan menyuplai gas sebagai pelayanan umum ialah PT XYZ. Organisasi ini membantu perusahaan-perusahaan yang memanfaatkan gas sebagai alternatif energi dalam rangka kegiatan produksinya. Bahkan, di rumah sakit pun gas digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk mendukung berbagai layanan kesehatan.

Untuk mendukung penyaluran gas alam. PT. XYZ merancang sistem jaringan pipanya dengan keamanan dan kepedulian terhadap lingkungan. Namun, salah satu isu yang sering muncul dalam distribusi gas alam adalah terjadinya degradasi material pipa akibat reaksi elektrokimia di berbagai titik yang tersebar dalam sistem jaringan distribusi gas alam.

Korosi tidak dapat dihentikan atau dihapus, namun dapat diantisipasi [1]. Dalam upaya mencegah korosi pada jaringan pipa PT. XYZ umumnya digunakan metode perlindungan berupa pelapisan cat (*coating*) pada pipa yang berada di atas tanah. Sementara itu, untuk pipa yang tertanam di tanah, diterapkan metode pembalutan (*wrapping*) dan kedua jenis sistem proteksi katodik, yaitu Sistem Proteksi Katodik Anoda Korban (*Sacrificial Anode*). Prinsip dasar dari metode SACP adalah ketika dua logam yang berbeda terhubung secara listrik dalam suatu larutan [2].

Beberapa jenis kerusakan pada sistem proteksi katodik meliputi kabel yang terputus, penurunan nilai anoda, nilai resistansi tiang test box yang terlalu rendah, dan kehilangan test box. PT XYZ menerapkan interval perawatan dengan melakukan perawatan dan pemeriksaan menyeluruh terhadap sistem proteksi katodik, dengan tujuan mencapai 100% keberhasilan. Standar pemeriksaan ini diterapkan perusahaan untuk memastikan bahwa semua aset dalam kondisi operasional optimal [3].

Merawat jaringan pipa gas memiliki manfaat yang besar sebagai tindakan preventif, sehingga dapat mencegah kerusakan dengan biaya yang terjangkau. Selain itu, tindakan perawatan yang dilakukan secara cepat tidak hanya dapat meminimalkan risiko kecelakaan (*hazard*), tetapi juga meningkatkan keandalan proteksi katodik anoda korban [4].

Dampak dari kurang optimal dan tidak efisien dalam sistem perawatan adalah perusahaan mengalami biaya yang tinggi akibat kecelakaan, seperti kebakaran yang disebabkan oleh kebocoran pipa gas, penggantian kerugian terhadap berbagai aspek yang terdampak, dan penanganan korban akibat kecelakaan tersebut [5].

Saat ini, perawatan yang dilakukan masih belum terencana, sehingga peningkatan dalam hal ini akan memberikan hasil yang lebih baik [6].

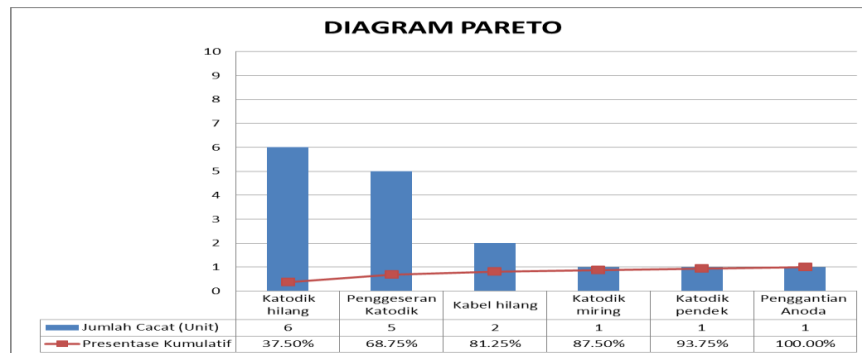
Dengan adanya metode yang sudah diterapkan perusahaan saat ini dirasa masih kurang efektif dan masih dapat dilakukannya perbaikan serta peningkatan efisiensi pada metode tersebut. Hal ini yang menjadi fokus pada penelitian yang dilakukan saat ini oleh peneliti yaitu terkait dengan peningkatan efisiensi metode tersebut dan minimalisasi resiko bahaya yang terjadi dengan menggunakan metode *Total Productive Maintenance* (TPM) [7].

Total Productive Maintenance (TPM) adalah konsep pemeliharaan yang melibatkan semua pekerja melalui aktivitas kelompok kecil. Hal ini mencakup beberapa aspek seperti komitmen penuh dari manajemen puncak, menyediakan waktu yang cukup bagi pekerja untuk melakukan tindakan korektif, dan mengintegrasikan waktu pemeliharaan terjadwal sebagai bagian dari proses produksi sehari-hari. TPM menjadi bagian yang tak terpisahkan dari produksi itu sendiri. Menurut Roberts (1997) dalam Nachnul [12], TPM adalah program pemeliharaan yang menggambarkan konsep pemeliharaan peralatan dan pabrik dengan tujuan meningkatkan kepuasan kerja dan moral karyawan.

METODE

Penelitian ini menerapkan metode *Total Productive Maintenance* (TPM). *Total Productive Maintenance* (TPM) adalah metode pemeliharaan yang menggabungkan produksi dan pemeliharaan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan mesin. Ini melibatkan semua karyawan dari manajemen puncak hingga operator lantai produksi dalam upaya untuk memaksimalkan efektivitas peralatan dan meningkatkan produktivitas keseluruhan. Pemilihan metode ini disebabkan oleh perbedaan kondisi di setiap jaringan pipa gas antara satu lokasi dan yang lainnya [8]; [9]. Oleh karena itu, Dalam kegiatan ini, dilakukan proses pengolahan data dengan tujuan menciptakan informasi atau pengetahuan dari data yang diperoleh selama proses pengumpulan data. Data pendukung untuk menghitung nilai efektivitas keseluruhan peralatan katodik dan komponennya mencakup beberapa informasi, termasuk perawatan yang telah direncanakan, perawatan yang tidak terencana, serta data mengenai kerusakan katodik. ditetapkan pendekatan prioritas untuk menekan lokasi mana yang memerlukan perhatian khusus dibandingkan dengan yang lain [10]. Hal ini memastikan kelancaran produksi, menghindari kemacetan, dan memastikan volume produksi optimal [11]; [12].

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1 Diagram Pareto Kerusakan Katodik

Diagram tersebut menggambarkan bahwa kerusakan yang paling umum terjadi adalah katodik hilang, sementara kerusakan yang jarang terjadi termasuk katodik miring, katodik yang pendek, dan penggantian anoda.

Tabel 1 Data *Availability* dari Katodik Anoda Korban (Januari – Desember 2023)

| Bulan (2023) | Operating Time (Jam) | Downtime (Jam) | Availability |
|--------------|----------------------|----------------|--------------|
| Januari | 726.8 | 17,2 | 97,63 % |
| Februari | 672 | 0 | 100 % |
| Maret | 691.5 | 52,5 | 92,41 % |
| April | 720 | 0 | 100 % |
| Mei | 744 | 0 | 100 % |
| Juni | 720 | 0 | 100 % |
| Juli | 744 | 0 | 100 % |
| Agustus | 744 | 0 | 100 % |
| September | 716 | 4 | 99,44 % |

Analisis Risiko Bahaya dan Penentuan Waktu Perawatan Katodik Dengan Pendekatan Total Productive Maintenance/ Tegar Dzulfikar, Wiwin Widiasih

| | | | |
|----------|--------|------|---------|
| Oktober | 744 | 0 | 100 % |
| November | 720 | 0 | 100 % |
| Desember | 744 | 0 | 100 % |
| Total | 8686,3 | 73,7 | 99,15 % |

$$= \frac{8686,3 - 73,7}{8686,3} \times 100 \% = 99,15 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan dalam tabel yang ditunjukkan, tingkat ketersediaan (*availability*) dari Januari hingga Desember 2023 mencapai 99,15%.

Tabel 2 *Performance* Katodik Anoda Korban (Januari – Desember 2023)

| Bulan (2023) | Operating Time (Jam) | Downtime (Jam) | Jam Operasi | Proteksi (mV) | Ideal Cycle (Jam) | Performance Efficiency Rate (%) |
|--------------|----------------------|----------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------------------|
| Januari | 744 | 17,2 | 726.8 | 1321 | 24 | 75,7 % |
| Februari | 672 | 0 | 672 | 1350 | 24 | 83,7 % |
| Maret | 744 | 52,5 | 691.5 | 1300 | 24 | 78,3 % |
| April | 720 | 0 | 720 | 1355 | 24 | 78,4 % |
| Mei | 744 | 0 | 744 | 1344 | 24 | 75,3 % |
| Juni | 720 | 0 | 720 | 1365 | 24 | 79 % |
| Juli | 744 | 0 | 744 | 1334 | 24 | 74,7 % |
| Agustus | 744 | 0 | 744 | 1299 | 24 | 72,7 % |
| September | 720 | 4 | 716 | 1354 | 24 | 78,8 % |
| Oktober | 744 | 0 | 744 | 1333 | 24 | 74,7 % |
| November | 720 | 0 | 720 | 1332 | 24 | 77,1 % |
| Desember | 744 | 0 | 744 | 1244 | 24 | 69,7 % |
| Total | 8686,3 | 73,7 | 8686,3 | 15931 | 24 | 76,5 % |

Perhitungan menggunakan rumus:

$$Performance Rate = \frac{(Total\ proteksi/Operasi)}{Ideal\ Cycle} \times 100 \%$$

$$Performance Rate(Total) = \frac{(15931/8686,3)}{24} \times 100 \%$$

$$= 76,5\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, tingkat kinerja katodik anoda korban berada di atas rata-rata sebesar 76,5%.

Analisis Risiko Bahaya dan Penentuan Waktu Perawatan Katodik Dengan Pendekatan Total Productive Maintenance/ Tegar Dzulfikar, Wiwin Widiasih

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2024 Tegar Dzulfikar, Wiwin Widiasih

Tabel 3 Data *Quality* Katodik Anoda korban (Januari-Desember 2023)

| Bulan (2023) | Kerusakan Katodik (Jam) | Proteksi (Jam) | <i>Quality Rate</i> (%) |
|--------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| Januari | 17,2 | 726,8 | 97,63 % |
| Februari | 0 | 672 | 100 % |
| Maret | 52,5 | 691,5 | 92,41 % |
| April | 0 | 720 | 100 % |
| Mei | 0 | 744 | 100 % |
| Juni | 0 | 720 | 100 % |
| Juli | 0 | 744 | 100 % |
| Agustus | 0 | 744 | 100 % |
| September | 4 | 716 | 99,44 % |
| Oktober | 0 | 744 | 100 % |
| November | 0 | 720 | 100 % |
| Desember | 0 | 744 | 100 % |
| Total | 73,7 | 8686,3 | 99,15 % |

Perhitungan menggunakan rumus:

$$Quality\ Rate = \frac{(Production\ Input - Input\ Defect)}{Production\ Input} \times 100\ %$$

Contoh pada bulan Januari

$$Quality\ Rate\ (Januari) = \frac{726,8 - 17,2}{726,8} \times 100\ %$$

$$= 97,63\%$$

$$Quality\ Rate\ (Total) = \frac{8686,3 - 73,7}{8686,3} \times 100\ %$$

$$= 99,15\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, tingkat kualitas dari Januari hingga Desember 2023 mencapai rata-rata sebesar 99,15%.

Tabel 4 Hasil Perhitungan *Overall Equipment Effectivness* Katodik Anoda Korban (Januari-Desember 2023)

| Bulan | <i>Availibility</i> (%) | <i>Performance</i> (%) | <i>Quality</i> (%) | OEE (%) |
|-----------|-------------------------|------------------------|--------------------|---------|
| Januari | 97,63 % | 75,7 % | 97,63 % | 72,15% |
| Februari | 100 % | 83,7 % | 100 % | 83,70% |
| Maret | 92,41 % | 78,3 % | 92,41 % | 66,87% |
| April | 100 % | 78,4 % | 100 % | 78,40% |
| Mei | 100 % | 75,3 % | 100 % | 75,30% |
| Juni | 100 % | 79 % | 100 % | 79,00% |
| Juli | 100 % | 74,7 % | 100 % | 74,70% |
| Agustus | 100 % | 72,7 % | 100 % | 72,70% |
| September | 99,44 % | 78,8 % | 99,44 % | 77,92% |
| Oktober | 100 % | 74,7 % | 100 % | 74,70% |
| November | 100 % | 77,1 % | 100 % | 77,10% |
| Desember | 100 % | 69,7 % | 100 % | 69,70% |
| Total | 99,15% | 76,5% | 99,15 % | 75,19% |

Perhitungan menggunakan rumus:

$$OEE = Availability(\%) \times Performance \times Quality(\%)$$

$$OEE (Januari) = 97,63\% \times 75,7\% \times 97,63\% = 72,15\%$$

$$OEE (Total) = 99,15\% \times 76,5\% \times 99,15\% = 75,19\%$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) katodik anoda korban selama periode Januari hingga Desember 2023 rata-ratanya adalah 75,19%. Angka ini menunjukkan bahwa efisiensi peralatan tersebut masih di bawah standar yang ditetapkan.

Tabel 5 Perhitungan MTBF Kerusakan Katodik Anoda Korban

| Kerusakan | Frekuensi Downtime | Interval Kerusakan TTF (Jam) | MTBF (Jan) |
|----------------------|--------------------|------------------------------|------------|
| Katodik Miring | 1 | 0 | 0 |
| Penggeseran Katodik | 5 | 1483,5 | 296,7 |
| Katodik Kabel Hilang | 11 | 1770,5 | 160,95 |
| Peninggian Katodik | 1 | 0 | 0 |
| Penggantian Anoda | 1 | 0 | 0 |

Perhitungan menggunakan rumus:

$$(MTBF) = \frac{Time\ Between\ Failure}{Number\ Of\ Failure}$$

$$MTBF = \frac{1770,5}{11} = 160,95\text{ Jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *Mean Time Between Failure* (MTBF) dari tabel, terlihat bahwa penggeseran katodik adalah komponen dengan frekuensi kerusakan tertinggi dibandingkan dengan komponen lainnya. Ini diperlihatkan oleh nilai MTBF yang paling rendah, yakni 0.

Tabel 6 Perhitungan MTTR Kerusakan Katodik Anoda Korban

| Kerusakan | Frekuensi Downtime | Interval Kerusakan TTF (Jam) | MTTR (Jam) |
|----------------------|--------------------|------------------------------|------------|
| Katodik Miring | 1 | 1,7 | 1,7 |
| Penggeseran Katodik | 5 | 9 | 1,8 |
| Katodik Kabel Hilang | 11 | 6 | 0,54 |
| Peninggian Katodik | 1 | 1,5 | 1,5 |
| Penggantian Anoda | 1 | 4 | 4 |

Perhitungan menggunakan rumus:

$$(MTTR) = \frac{Total\ Repair\ Time}{Number\ of\ Repair}$$

$$MTTR = \frac{6}{11} = 0,54 \text{ Jam}$$

Dari hasil perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk kerusakan katodik anoda korban, terlihat bahwa komponen yang mengalami kerusakan dengan waktu perbaikan tertinggi adalah penggantian anoda, dengan rata-rata waktu perbaikan 4 jam setiap kali perbaikan dilakukan. Setelah menghitung MTBF dan MTTR untuk setiap penyebab kerusakan katodik anoda korban, dapat dilihat bahwa katodik miring, peninggian katodik, dan penggantian anoda memiliki interval kerusakan yang lebih sering. Di sisi lain, penggeseran katodik dan katodik kabel hilang memiliki MTTR yang lebih tinggi, menandakan waktu perbaikan yang lebih lama dibandingkan dengan komponen lainnya.

Perhitungan Biaya *Life Cycle Cost* Katodik Anoda Korban

Tabel 7 Perhitungan Initial Cost Katodik Anoda Korban

| No | Komponen | Satuan | Jumlah yg dibutuhkan | Harga Satuan | Jumlah Biaya (Rp.) |
|--------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------|--------------------|
| 1 | Katodik | Per 600 meter | 25 pcs | Rp. 2.500.000 | Rp. 62.500.000 |
| 2 | Patok Gas | Per 1 Km | 15 pcs | Rp. 50.000 | Rp. 750.000 |
| 3 | Marker Post | Per 2 Km | 8 pcs | Rp. 150.000 | Rp. 1.200.000 |
| 4 | Valve | Per 3 Km | 5 pcs | Rp. 4.500.000 | Rp. 22.500.000 |
| 5 | Pipa | Per 150 Km | 150 Km | Rp. 1.500.000 | Rp. 375.000.000 |
| 6 | Tenaga Kerja / Tukang Gali | Kedalaman 1,5 m, panjang 150 Km | 150 Km | Rp. 300.000 | Rp. 45.000.000 |
| 7 | Welder | 150 Km | 150 Km | Rp. 1.500.000 | Rp. 225.000.000 |
| Total Initial Cost | | | | | Rp. 731.950.000 |

Tabel 8 Perhitungan Future Cost Katodik Anoda Korban

| No | Komponen | Satuan | Jumlah yg dibutuhkan | Harga Satuan | Jumlah Biaya (Rp.) |
|-------------------|----------------------------------|------------|----------------------|--------------|--------------------|
| 1 | Asuransi | Per Tahun | 150 Km | Rp. 80.000 | Rp. 12.000.000 |
| 2 | Biaya perawatan versi perusahaan | Per Bulan | 216 pcs | Rp. 425.000 | Rp. 48.800.000 |
| 3 | Biaya perawatan usulan | Per 3 hari | 216 pcs | Rp. 20.000 | Rp. 43.200.000 |
| Total Future Cost | | | | | Rp. 54.000.000 |

Tabel 9 *Salvage Cost* Katodik Anoda Korban

| Tahun | Salvage cost |
|-------|--|
| 1 | 732.000.000 - 48.800.000 = 683.200.000 |
| 2 | 683.200.000 - 48.800.000 = 634.400.000 |
| 3 | 634.400.000 - 48.800.000 = 585.600.000 |
| 4 | 585.600.000 - 48.800.000 = 536.800.000 |
| 5 | 488.000.000 - 48.800.000 = 439.200.000 |
| 6 | 439.200.000 - 48.800.000 = 390.400.000 |
| 7 | 390.400.000 - 48.800.000 = 341.600.000 |
| 8 | 341.600.000 - 48.800.000 = 292.800.000 |
| 9 | 292.800.000 - 48.800.000 = 244.000.000 |
| 10 | 244.000.000 - 48.800.000 = 195.200.000 |
| 11 | 195.200.000 - 48.800.000 = 146.400.000 |
| 12 | 146.400.000 - 48.800.000 = 97.600.000 |
| 13 | 97.600.000 - 48.800.000 = 48.800.000 |
| 14 | 48.800.000 - 48.800.000 = 0 |
| 15 | 0 |

Analisis biaya siklus hidup dilakukan untuk mengevaluasi nilai pada tahun kelima, karena komponen katodik dengan anoda korban dipasang sejak tahun 2018. Oleh karena itu, perhitungan dilakukan untuk menentukan biaya selama masa pakainya sebagai berikut:

$$LCC = \text{Initial Cost} + \text{Future Cost} - \text{Salvage Cost}$$

$$= \text{Rp. } 731.950.000 + \text{Rp. } 54.000.000 - \text{Rp. } 439.200.000 = \text{Rp. } 346.750.000$$

Dengan ini, biaya siklus hidup pada tahun kelima adalah Rp. 346.750.000

Perhitungan Efisiensi Katodik Anoda Korban

Berikut adalah langkah-langkah untuk menghitung efisiensi dari katodik anoda korban:

Biaya perawatan sesuai dengan kebijakan perusahaan

$$= \text{Rp. } 48.800.000 + \text{Rp. } 12.200.000 = \text{Rp. } 60.600.000$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Biaya Perawatan Perusahaan} - \text{Biaya Perawatan Usulan}}{\text{Biaya Perawatan Usulan}} \times 100 \%$$

$$= \frac{\text{Rp. } 60.600.000 - \text{Rp. } 55.200.000}{\text{Rp. } 55.200.000} \times 100 \%$$

$$= \frac{\text{Rp. } 5.400.000}{\text{Rp. } 55.200.000} \times 100 \%$$

$$= 9,78\%$$

Menurut tabel 1, tingkat ketersediaan sistem katodik dengan anoda korban mencapai 99,15%, menunjukkan bahwa sistem ini hampir selalu tersedia untuk beroperasi. Sebaliknya, tabel 2 menunjukkan tingkat kinerja sebesar 76,5%, mengindikasikan penurunan performa sistem katodik anoda korban, terutama disebabkan oleh kerusakan akibat faktor pihak ketiga. Tabel 3 menunjukkan tingkat kualitas sebesar 99,15%, mencerminkan tingginya kualitas operasi dari sistem katodik anoda korban. Namun, tabel 4 menunjukkan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk sistem katodik sebesar 75,19%, yang menandakan bahwa efektivitas sistem ini saat ini adalah 75,19%, di bawah target minimum perusahaan yang sebesar 90%. Oleh karena itu, diperlukan tindakan pemeliharaan preventif untuk meningkatkan efektivitas sistem dan mengurangi risiko kerusakan pada katodik dengan anoda korban.

Diperlukan waktu perbaikan sebesar 0,54 jam. Menurut tabel 5, kerusakan pada peninggian katodik memiliki interval kerusakan 0, dengan *Mean Time Between Failures* (MTBF) juga 0 jam, dan *Mean Time To Repair* (MTTR) adalah 0,54 jam. Artinya, rata-rata waktu perbaikan untuk kerusakan ini adalah 1,5 jam.

Sementara itu, dalam tabel yang sama, kerusakan terkait penggantian anoda memiliki interval kerusakan 0, dengan MTBF juga 0 jam. MTTR untuk kerusakan ini adalah 0,54 jam, yang berarti rata-rata waktu perbaikan yang diperlukan adalah 4 jam.

Keputusan untuk mengganti komponen didasarkan pada perhitungan MTBF, MTTR, dan keandalan. Dalam konteks ini, evaluasi dilakukan terhadap komponen-komponen penyebab kerusakan berdasarkan data dalam tabel 5. MTBF terendah adalah 160,95 jam untuk katodik dengan kabel hilang, sedangkan MTBF untuk penggeseran katodik adalah 296,7 jam.

Untuk MTTR pada tabel 6, nilai terendah adalah 0,54 jam untuk katodik kabel hilang, sementara nilai tertinggi adalah 1,8 jam untuk penggeseran katodik. Dengan demikian, waktu rata-rata untuk memperbaiki kerusakan pada katodik kabel hilang adalah 0,54 jam, sedangkan untuk penggeseran katodik adalah 1,8 jam.

Untuk mencegah penurunan keandalan hingga 50%, disarankan agar pemeliharaan atau perawatan dilakukan setidaknya setiap 3 hari. Oleh karena itu, untuk memastikan keberhasilan *Total Productive Maintenance* (TPM), semua pihak perlu berperan aktif dalam mengawasi dan melaporkan kepada pihak terkait jika ada kerusakan pada sistem katodik.

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 7, 8, dan 9, initial cost untuk sistem katodik dengan anoda korban adalah Rp. 731.950.000, yang merupakan biaya awal proyek yang akan dikerjakan. Setelah memperoleh data initial cost, dihitung nilai future cost untuk sistem katodik anoda korban menurut perusahaan, yaitu sebesar Rp. 60.600.000. Selanjutnya, dilakukan perhitungan salvage cost dengan pengamatan pada tahun ke-5. Dengan informasi ini, nilai Life Cycle Cost (LCC) untuk sistem katodik dengan anoda korban adalah sebesar Rp. 346.750.000. Perhitungan biaya pemeliharaan menurut perusahaan adalah sebesar Rp. 60.600.000, sedangkan biaya pemeliharaan yang diusulkan dalam penelitian adalah Rp. 55.200.000. Oleh karena itu, efisiensi perusahaan adalah 9,78%.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dari sistem katodik dengan anoda korban menggunakan metode Total Productive Maintenance (TPM), berikut adalah kesimpulan dari penelitian ini.

Dari hasil analisis, untuk menentukan biaya pemeliharaan yang efisien dan meminimalkan biaya di PT. XYZ, diketahui bahwa biaya pemeliharaan yang sebelumnya dikeluarkan perusahaan adalah Rp. 60.600.000 per bulan. Namun, setelah analisis menggunakan metode *life cycle cost*, biaya pemeliharaan yang diusulkan adalah Rp. 55.200.000, menunjukkan efisiensi sebesar 9,78%.

Setelah melakukan penelitian di PT. XYZ, berikut adalah saran yang dapat diberikan:

1. Sistem katodik yang terkena dampak dari aktivitas pihak ketiga sebaiknya dipantau secara berkala hingga pekerjaan di sekitar aset dan jaringan pipa gas selesai. Dengan demikian, risiko kehilangan atau kerusakan dapat diminimalkan atau dihindari sepenuhnya.
2. Diperlukan alat kontrol untuk mendeteksi jika proteksi pada jalur yang terkena dampak mengalami gangguan, agar sistem proteksi dapat terus berfungsi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. T. D. Atmaji, "Optimasi jadwal perawatan Pencegahan pada mesin tenun unit satu di PT. KSM Yogyakarta.," 2015.

-
- [2] Gaspersz, "). Sistem Manajemen Kinerja Terintegrasi, Balanced Scorecard Dengan Six Sigma Untuk Organisasi Bisnis dan Pemerintah. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta,," 2002.
- [3] T. Imani, "). Implementasi Total Productive Maintenance Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (Oee) Untuk Menentukan Maintenance Strategy, Jurnal Teknik Industri, Vol 20. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Surabaya," 2012.
- [4] I. Sodikin, "). Penentuan Interval Perawatan Preventive Komponen Elektrik dan Komponen Mekanik yang optimal pada Mesin Excavator Seri PC 200-6 dengan Pendekatan Model Jardine. Jurnal Teknologi. 1(2), 150-160. IST AKPRIND Yogyakarta.," 2008.
- [5] Margono, "Manajemen Pemeliharaan dan Perawatan Mesin, Jurnal Unimus, Vol 4. No. 1, UNIMUS, Bandung,," 2006.
- [6] M. F. I. Lubis, "Implementasi Perawatan Preventive Maintenance Pada Mesin produksi Untuk Meningkatkan Keandalan mesin menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM).," 2021.
- [7] M. R. W. Widiasih, "ANALISIS PEMELIHARAAN BUBUT DENGAN METODE PEMELIHARAAN PREVENTIF UNTUK MENGHINDARI KERUSAKAN MENDATANG DAN MENGHITUNG BIAYA PEMELIHARAAN.," Jurnal Senopati, 2022.
- [8] A. Man, "Are Semi Autonomous Revenue Authorities the Answer to Tax Administration Problems in Developing Countries? A Practical Guide. USAIF Review for Fiscal Reform in Support Trade Liberalization Project," 2004.
- [9] Airin, "Fungsi dan Kandungan Arang Sekam/ Sekam Bakar. Fakultas Pertanian Universitas Islam Sumatera Utara. Medan," 2011.
- [10] A. Rohmadon, "Analisis Total Productive Maintenance (TPM) Dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Paper machine di PT. M," 2023.
- [11] M. Basjir, "Pengembangan Model Penentuan Prioritas Perbaikan terhadap Mode Kegagalan Komponen dengan Metodologi FMEA, Fuzzy dan Topsis yang Terintegrasi. Jurnal Teknik Industri, Vol 36. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Surabaya," 2011.
- [12] Y. Deatri, "Analisis Kegiatan Pemeliharaan Mesin Guna Meminimumkan Biaya Pemeliharaan pada CV. Prima Indo," 2020.
- [13] Ansori ,Nachnul. dan Mustajib, M.Imron. Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System). Yogyakarta: Graha Ilmu."2013.
- [14] Roberts, Jack. Total Productive Maintenance. The Technology Interface, New Mexico State University, Las Cruces-New Mexico."1997.
- [15] Setyawan, Indra. Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) Sebagai Rekomendasi Perbaikan Maintenance di CV. Sinar Albasia Utama Yogyakarta. Skripsi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga: Yogyakarta."2015