

Analysis Of Machine Maintenance Using Markov Chain Method For Reducing Maintenance Cost

1st Setya Adi Pratama¹, 2nd Boy Isma Putra^{2*})

{setyaadip@gmail.com¹, boy@umsida.ac.id²}

Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstract. *PT. Steel Pipe Industry of Indonesia, Tbk. (SPINDO Unit IV) is a company engaged in manufacturing welding spiral pipe production. In 2021 there was an increase in maintenance costs compared to 2020, which in 2020 amounted to Rp 3.051.800.000 to Rp 3.299.400.000 in 2021, which mean an increase of Rp 247.600.000 or 8%. Based on those problems, the purpose of this study is to determine the policies that should implemented to reduce maintenace costs. The method used is markov chain method. By using the markov chain method, it can be determined the best policy that can lead to lower maintenance costs, whether preventive maintenance or corrective maintenance. So that the company can determine the best maintenance policy for the future. The result obtained from using the markov chain method for this research are that the results can saving of Rp 680.000.000 compared to initial maintenace costs.*

Keywords — *Cost of Maintenance; Machine Maintenance; Markov Chain Method.*

Abstract. *PT. Steel Pipe Industry of Indonesia, Tbk. (SPINDO Unit IV) merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi pipa spiral lasan. Pada 2021 terdapat kenaikan biaya perawatan mesin dibanding pada tahun 2020, yang mana dari Rp 3.051.800.000 menjadi Rp 3.299.400.000 pada 2021, sehingga terjadi kenaikan sebesar Rp 247.600.000 atau 8%. Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kebijakan yang sebaiknya diambil untuk mengurangi biaya perawatan. Metode yang digunakan adalah metode markov chain. Dengan menggunakan metode markov chain, maka akan diketahui kebijakan yang sebaiknya dilakukan, menggunakan perawatan pencegahan atau perawatan korektif. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah terjadinya penghematana sebesar Rp 680.000.000 dibanding dengan perawatan awal.*

Keywords — *Biaya Perawatan; Metode Markov Chain; Perawatan Mesin.*

I. PENDAHULUAN

PT. Steel Pipe Industry of Indonesia, Tbk. (SPINDO) merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur produksi pipa spiral lasan. Pada tahun 2021, perusahaan mengalami kenaikan biaya perawatan yang harus dikeluarkan dibandingkan dengan biaya perawatan pada tahun 2020, yaitu sebesar Rp 259.600.000. Yang menunjukkan adanya tren kenaikan terhadap biaya perawatan.

Biaya perawatan mesin rol pada tahun 2020 sebesar Rp 1.379.800.000, sedangkan pada tahun 2021 sebesar Rp 1.461.800.000, yang berarti mengalami kenaikan sebesar Rp 90.000.000 atau 7% dibanding tahun sebelumnya. Biaya perawatan mesin las pada tahun 2020 sebesar Rp 653.300.000, sedangkan pada tahun 2021 sebesar Rp 708.200.000, yang berarti mengalami kenaikan sebesar Rp 54.900.000 atau 8% dibanding tahun sebelumnya. Biaya perawatan mesin potong pada tahun 2020 sebesar Rp 1.018.700.000, sedangkan pada tahun 2021 sebesar Rp 1.121.400.000, yang berarti mengalami kenaikan sebesar Rp 102.700.000 atau 10% dibanding tahun sebelumnya (data perusahaan yang telah diolah). Rata-rata kenaikan biaya perawatan tahunan adalah 4,5%, sehingga ketiga mesin tersebut mengalami kenaikan biaya perawatan diatas rata-rata [1].

Dari permasalahan yang dikemukakan diatas, maka dibutuhkan alternatif kebijakan perawatan guna menurunkan biaya perawatan yang dialami perusahaan [9]. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kebijakan yang sebaiknya diambil guna menurunkan biaya perawatan mesin. Metode yang akan digunakan adalah metode markov chain, karena berdasarkan penelitian yang sebelumnya telah dilakukan, metode *markov chain* telah terbukti dapat menurunkan biaya perawatan [7] dan [8]. Metode *markov chain* dapat memperkirakan kemungkinan perubahan kondisi mesin berdasarkan pada keadaan saat ini, sehingga dalam mengambil keputusan dapat diketahui kapan waktu perawatan terbaik untuk dilakukan [2]. Sehingga perusahaan dapat menghindari dari kejadian yang tidak diinginkan [10].

*) Penulis Korespondensi, boy@umsida.ac.id

II. METODE

A. Pengumpulan data

Kegiatan penelitian akan dilakukan bertempat di PT. Steel Pipe Industry of Indonesia, Tbk. (SPINDO Unit IV) di Ds. Cangkringmalang, Kec. Beji, Kab. Pasuruan, pada departemen produksi dan dilakukan selama tujuh bulan mulai dari bulan Oktober 2021 sampai bulan April 2022. Pada kegiatan penelitian kali ini akan menggunakan metode penelitian kuantitatif, sehingga pengelompokan data informasi yang didasarkan pada sumber yang digunakan, yaitu :

1. Data primer, diperoleh melalui observasi dan wawancara. Untuk pihak yang diwawancarai adalah teknisi lapangan karena mereka adalah pihak yang mengetahui secara langsung kondisi dari tiap mesin. Selain itu digunakan juga data observasi berupa data produksi, data kerusakan, data mesin yang mengalami perubahan status, data-data administrasi dan keuangan perusahaan, dalam hal ini data biaya-biaya perawatan.
2. Data sekunder, yang dikumpulkan berupa buku dan jurnal penelitian terdahulu, yang digunakan sebagai sumber literasi untuk melakukan pengolahan data yang telah didapatkan. Penelitian ini hanya ditujukan pada tiga jenis mesin, yaitu mesin rol, mesin las, dan mesin potong yang merupakan mesin dengan biaya perawatan tertinggi. Data yang digunakan merupakan data yang diambil dari kegiatan perawatan mesin produksi yang berlangsung pada Januari hingga Desember 2021.

B. Pengolahan data

Langkah yang dilakukan dalam melakukan pengolahan data, yaitu :

1. Penentuan mesin paling kritis. Melakukan penentuan mesin yang dalam dua tahun terakhir mengalami kenaikan biaya perawatan diatas rata-rata. Dalam penelitian kali ini didapatkan tiga mesin yang memiliki biaya perawatan yang paling tinggi, yaitu mesin rol, mesin las, dan mesin potong.
2. Usulan perawatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Usulan Perbaikan [2]

<i>Policy</i>	d1(P)	d2(P)	d3(P)	d4(P)
P1	1	1	2	3
P2	1	2	3	3
P3	1	2	2	3
P4	1	1	3	3

Tabel 2. Keterangan Dari Usulan Kebijakan Usulan [6]

Keputusan	Tindakan yang Dilakukan
1	Tidak melakukan perawatan (status mesin tidak berubah)
2	Dilakukan perawatan pencegahan (status mesin naik ke status diatasnya)
3	Dilakukan perawatan korektif (status mesin menjadi baik)

3. Penentuan asumsi status dan kondisi kerusakan mesin. Setelah diketahui mesin yang akan dijadikan objek penelitian, maka selanjutnya adalah mentukan asumsi status dan kondisi kerusakan mesin dalam satu tahun terakhir.
4. Pembuatan probabilitas transisi. Penentuan status dan membuat probabilitas transisi dari masing-masing usulan, berdasarkan persamaan [5] berikut:

$$P_{ij} = \frac{m1}{m_{ij}} \quad (1)$$

5. Matriks transisi status kerusakan mesin, setelah itu probabilitas transisi yang telah didapatkan dituliskan dalam bentuk matriks [5].

$$[x1 \quad x2 \quad x3 \quad x4] \begin{bmatrix} P11 & P12 & P13 & P14 \\ P21 & P22 & P23 & P24 \\ P31 & P32 & P33 & P34 \\ P41 & P42 & P43 & P44 \end{bmatrix} \quad (2)$$

6. Penentuan probabilitas status kerusakan mesin, matriks yang telah dibuat kemudian akan dituliskan dalam bentuk persamaan, dan dengan menggunakan persamaan linear akan diperoleh probabilitas setiap status [5].

$$\begin{array}{rccccrc}
 P11x1 & +P21x2 & +P31x3 & +P41x4 & = & x1 \\
 P12x1 & + P22x2 & + P32x3 & + P42x4 & = & x2 \\
 P13x1 & + P23x2 & + P33x3 & + P43x4 & = & x3 \\
 P14x1 & + P24x2 & + P34x3 & + P44x4 & = & x4 \\
 x1 & + x2 & + x3 & + x4 & = & 1
 \end{array} \tag{3}$$

7. Perhitungan biaya, dari probabilitas setiap status yang telah diperoleh, kemudian ditentukan estimasi biaya perawatan yang didapatkan, menggunakan persamaan [5] berikut :

$$[x1 \quad x2 \quad x3 \quad x4] \begin{bmatrix} \text{Biaya Status Baik} \\ \text{Biaya Status Ringan} \\ \text{Biaya Status Sedang} \\ \text{Biaya Status Buruk} \end{bmatrix} \tag{4}$$

8. Analisa data. Setelah mengetahui biaya estimasi dari masing-masing usulan, kemudian ditentukan usulan yang memiliki biaya estimasi yang paling rendah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dikumpulkan pada penelitian kali ini adalah data biaya perawatan, dan data status mesin. Mesin yang dijadikan objek penelitian kali ini adalah mesin rol, mesin las, dan mesin potong, yang dimana tiap mesin akan menggunakan 4 usulan kebijakan perawatan berdasarkan tabel 1.

A. Mesin rol usulan kebijakan 1

Berikut ini merupakan pengolahan data pada mesin rol usulan kebijakan 1 :

1. Status Asumsi

Status awal kondisi mesin dirubah menjadi status asumsi. Sehingga didapatkan status asumsi sebagai berikut:

Tabel 3. Status Asumsi Mesin Rol Kebijakan Usulan 1

Bulan	Status Mesin			
	Baik	Ringan	Sedang	Buruk
Jan-21		V		
Feb-21		V		
Mar-21			V	
Apr-21		V		
Mei-21		V		
Jun-21				V
Jul-21	V			
Agust-21		V		
Sep-21		V		
Okt-21		V		
Nov-21			V	
Des-21		V		

2. Probabilitas Transisi

Setelah didapatkan status asumsi dari tiap usulan, kemudian dihitung probabilitas perubahan tiap transisi status kerusakan mesin.

Tabel 4. Probabilitas Transisi Status Kerusakan Mesin Rol Kebijakan Usulan 1

j i	1 (j)	2 (j)	3 (j)	4 (j)
	Baik	Ringan	Sedang	Berat
Baik	0	1	0	0
Ringan	0	0,63	0,25	0,12

Sedang	0	1	0	0
Berat	1	0	0	0

3. Matriks Probabilitas Transisi Status Kerusakan Mesin

Setelah didapatkan probabilitas perubahan tiap transisi, kemudian dituliskan dalam bentuk matriks, sebagai berikut :

$$[x1 \ x2 \ x3 \ x4] \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,63 & 0,25 & 0,12 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

4. Persamaan Probabilitas Transisi Status Kerusakan Mesin

Matriks yang telah dibuat kemudian akan dituliskan dalam bentuk persamaan, sebagai berikut:

$$\begin{array}{rclcl} 0 & +0 & +0 & +x4 & = x1 \\ x1 & +0,63x2 & +x3 & +0 & = x2 \\ 0 & +0,25x2 & +0 & +0 & = x3 \\ 0 & +0,12x2 & +0 & +0 & = x4 \\ x1 & +x2 & +x3 & +x4 & = 1 \end{array} \quad (6)$$

5. Probabilitas Status Kerusakan Mesin

Dengan menggunakan persamaan linear, diperoleh probabilitas setiap status sebagai berikut:

$$x1 = 0,08, x2 = 0,67, x3 = 0,17, x4 = 0,08 \quad (7)$$

6. Ekspektasi Biaya Perawatan

Dari probabilitas setiap status yang telah diperoleh, kemudian ditentukan estimasi biaya perawatan yang didapatkan, sebagai berikut:

$$[0,08 \ 0,67 \ 0,17 \ 0,08] \begin{bmatrix} \text{Rp } 0 \\ \text{Rp } 708.600.000 \\ \text{Rp } 446.000.000 \\ \text{Rp } 315.200.000 \end{bmatrix} = \text{Rp } 1.338.100.000 \quad (8)$$

Sehingga ekspektasi biaya perawatan mesin rol pada usulan kebijakan 1 adalah sebesar Rp 1.338.100.000.

B. Mesin las usulan kebijakan 1

Berikut ini merupakan pengolahan data pada mesin las usulan kebijakan 1 :

1. Status Asumsi

Status awal kondisi mesin dirubah menjadi status asumsi. Sehingga didapatkan status asumsi sebagai berikut:

Tabel 5. Status Asumsi Mesin Las Kebijakan Usulan 1

Bulan	Status Mesin			
	Baik	Ringan	Sedang	Buruk
Jan-21			V	
Feb-21		V		
Mar-21			V	
Apr-21		V		
Mei-21				V
Jun-21	V			

C. Mesin potong usulan kebijakan 1

Berikut ini merupakan pengolahan data pada mesin potong usulan kebijakan 1 :

1. Status Asumsi

Status awal kondisi mesin dirubah menjadi status asumsi. Sehingga didapatkan status asumsi sebagai berikut:

Tabel 7. Status Asumsi Mesin Las Kebijakan Usulan 1

Bulan	Status Mesin			
	Baik	Ringan	Sedang	Buruk
Jan-21		V		
Feb-21				V
Mar-21	V			
Apr-21		V		
Mei-21				V
Jun-21	V			
Jul-21		V		
Agust-21		V		
Sep-21			V	
Okt-21	V			
Nov-21		V		
Des-21			V	

2. Probabilitas Transisi

Setelah didapatkan status asumsi dari tiap usulan, kemudian dihitung probabilitas perubahan tiap transisi status kerusakan mesin.

Tabel 8. Probabilitas Transisi Status Kerusakan Mesin Las Kebijakan Usulan 1

j i	1 (j)	2 (j)	3 (j)	4 (j)
	Baik	Ringan	Sedang	Berat
Baik	0	1	0	0
Ringan	0	0,33	0,33	0,33
Sedang	1	0	0	0
Berat	1	0	0	0

3. Matriks Probabilitas Transisi Status Kerusakan Mesin

Setelah didapatkan probabilitas perubahan tiap transisi, kemudian dituliskan dalam bentuk matriks, sebagai berikut :

$$[x1 \ x2 \ x3 \ x4] \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

4. Persamaan Probabilitas Transisi Status Kerusakan Mesin

Matriks yang telah dibuat kemudian akan dituliskan dalam bentuk persamaan, sebagai berikut:

$$\begin{array}{rclcl} 0 & + 0 & + x3 & + x4 & = x1 \\ x1 & + 0,33x2 & + 0 & + 0 & = x2 \\ 0 & + 0,33x2 & + 0 & + 0 & = x3 \\ 0 & + 0,33x2 & + 0 & + 0 & = x4 \\ x1 & + x2 & + x3 & + x4 & = 1 \end{array} \quad (14)$$

5. Probabilitas Status Kerusakan Mesin

Dengan menggunakan persamaan linear, diperoleh probabilitas setiap status sebagai berikut:

$$x1 = 0,25, \ x2 = 0,42, \ x3 = 0,17, \ x4 = 0,16 \quad (15)$$

6. Ekspektasi Biaya Perawatan

Dari probabilitas setiap status yang telah diperoleh, kemudian ditentukan estimasi biaya perawatan yang didapatkan, sebagai berikut:

$$[0,25 \quad 0,42 \quad 0,17 \quad 0,16] \times \begin{bmatrix} \text{Rp } 0 \\ \text{Rp } 392.400.000 \\ \text{Rp } 325.800.000 \\ \text{Rp } 403.200.000 \end{bmatrix} = \text{Rp } 831.400.000$$

(16)

Sehingga ekspektasi biaya perawatan mesin rol pada usulan kebijakan 1 adalah sebesar Rp 831.400.000.

D. Analisa data mesin rol

Berdasarkan pengolahan data pada mesin rol yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Biaya perawatan awal sebesar Rp 1.469.800.000.
2. Biaya perawatan usulan 1 sebesar Rp 1.338.100.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 131.700.000 atau 8,9% dibanding biaya perawatan awal.
3. Biaya perawatan usulan 2 sebesar Rp 789.800.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 680.000.000 atau 46,3% dibanding biaya perawatan awal.
4. Biaya perawatan usulan 3 sebesar Rp 833.200.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 636.600.000 atau 43,3% dibanding biaya perawatan awal.
5. Biaya perawatan usulan 4 sebesar Rp 1.113.700.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 356.100.000 atau 24,2% dibanding biaya perawatan awal.

Sehingga, perawatan pada mesin rol yang diusulkan adalah usulan 2 yaitu perawatan pencegahan pada status ringan dan pemeliharaan korektif pada status sedang dan berat.

E. Analisa data mesin las

Berdasarkan pengolahan data pada mesin las yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Biaya perawatan awal sebesar Rp 708.200.000.
2. Biaya perawatan usulan 1 sebesar Rp 669.000.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 39.900.000 atau 5,6% dibanding biaya perawatan awal.
3. Biaya perawatan usulan 2 sebesar Rp 341.700.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 366.500.000 atau 51,7% dibanding biaya perawatan awal.
4. Biaya perawatan usulan 3 sebesar Rp 499.700.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 208.500.000 atau 29,4% dibanding biaya perawatan awal.
5. Biaya perawatan usulan 4 sebesar Rp 527.000.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 181.200.000 atau 25,5% dibanding biaya perawatan awal.

Sehingga, perawatan pada mesin las yang diusulkan adalah usulan 2 yaitu perawatan pencegahan pada status ringan dan perawatan korektif pada status sedang dan berat, atau usulan 3 yaitu perawatan pencegahan pada status baik dan sedang serta pemeliharaan korektif pada status berat.

F. Analisa data mesin potong

Berdasarkan pengolahan data pada mesin potong yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Biaya perawatan awal sebesar Rp 1.121.400.000.
2. Biaya perawatan usulan 1 sebesar Rp 831.400.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 290.000.000 atau 25,9% dibanding biaya perawatan awal.
3. Biaya perawatan usulan 2 sebesar Rp 581.200.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 540.200.000 atau 48,2% dibanding biaya perawatan awal.
4. Biaya perawatan usulan 3 sebesar Rp 581.200.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 540.200.000 atau 48,2% dibanding biaya perawatan awal.
5. Biaya perawatan usulan 4 sebesar Rp 831.400.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 290.000.000 atau 25,9% dibanding biaya perawatan awal.

Sehingga, perawatan pada mesin potong yang diusulkan adalah usulan 2 yaitu perawatan pencegahan pada status ringan dan perawatan korektif pada status sedang dan berat, atau usulan 3 yaitu perawatan pencegahan pada status baik dan sedang serta pemeliharaan korektif pada status berat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan yakni sebagai berikut:

Perawatan pada mesin rol yang diusulkan adalah usulan 2 yaitu perawatan pencegahan pada status ringan dan pemeliharaan korektif pada status sedang dan berat. Yang menghasilkan biaya perawatan usulan sebesar Rp 789.800.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 680.000.000 atau 46,3% dibanding biaya perawatan awal.

Perawatan pada mesin las yang diusulkan adalah usulan 2 yaitu perawatan pencegahan pada status ringan dan perawatan korektif pada status sedang dan berat, atau usulan 3 yaitu perawatan pencegahan pada status baik dan sedang serta pemeliharaan korektif pada status berat. Yang menghasilkan biaya perawatan usulan sebesar Rp 341.700.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 366.500.000 atau 51,7% dibanding biaya perawatan awal.

Perawatan pada mesin potong yang diusulkan adalah usulan 2 yaitu perawatan pencegahan pada status ringan dan perawatan korektif pada status sedang dan berat, atau usulan 3 yaitu perawatan pencegahan pada status baik dan sedang serta pemeliharaan korektif pada status berat. Yang menghasilkan biaya perawatan usulan sebesar Rp 581.200.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp 540.200.000 atau 48,2% dibanding biaya perawatan awal.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa saran, bagi perusahaan, manajemen perusahaan perlu melakukan evaluasi terhadap kegiatan perawatan yang selama ini dijalankan dan dapat mempertimbangkan untuk menerapkan metode *markov chain* dalam melaksanakan manajemen perawatan mesin, guna menurunkan biaya perawatan. Bagi penelitian selanjutnya, disarankan untuk penelitian selanjutnya agar menggunakan data yang memiliki waktu lebih dari satu tahun, untuk menghasilkan pengolahan data yang lebih optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada segala pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan artikel ilmiah ini, terutama keluarga yang selalu ada untuk saya, teman yang selalu membantu saya, dan perusahaan PT. Steel Pipe Industri Indonesia yang telah mengizinkan saya melakukan penelitian di tempat ini, dan pihak-pihak yang tidak dapat saya sebutkan namanya.

REFERENSI

- [1] Krstic, Hrvoje, dan Marenjak, Sasa, "Analysis of Building Operation and Maintenance Costs", 2020. 293-303.
- [2] Priambodo, Bambang, "*Minimalisasi Biaya Maintenance Lift Menggunakan Metode Markov*", 2020, in Jurnal Valtech, 12-16.
- [3] Dhillon, B. S, "*Engineering Maintenance : A Modern Approach*", 2020, in Florida: CRC Press LLC.
- [4] Sudrajat, Ating, dan Rahmatullah, Griffani Megiyanto, "*Pedoman Praktis Manajemen Perawatan Mesin Industri*", 2020.
- [5] Dimiyati, Tjutju Tarliah, dan Dimiyati, Ahmad, "*Operation Research Model-Model Pengambilan Keputusan*"., 1999.
- [6] Maulana, Dimas Surya, "*Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode Markov Chain di PT. Karyamitra Budisentosa Pandaan*", 2021.
- [7] Aisha, Hassan Sheikh, Abdullah M. U., dan Ahmad A. Y, "*Markov Decision Model for Maintenance Problem of Deteriotaring Equipment With Valueiteration*", 2017, in IOSR Journal of Mathematics, 88-93.
- [8] Elsayed, A Elsayed, Dawood, Shaik, Rahaman, Abdul dan Karthikeyan, "*Intelegent Maintenace System Using Mrkov Chain with Monte Carlo Simulation Approaches*", 2020. In IOSR-JMCE, 18-24.
- [9] Prihastono, Endro, dan Brian rakoso, "*Perawatan Preventif Untuk Mempertahankan Utilitas Performance Pada Mesin Cooling Tower Di CV. Arhu Tapselindo Bandung*", 2017. In Dinamika Teknik, 17 – 27.
- [10] Heizer, Jay, dan Render, Barry, "*Manajemen Operasi*", 2010.