
**EVALUASI EKONOMIS PENGGANTIAN MESIN INDUSTRI DENGAN
DYNAMIC PROGRAMMING: APLIKASI PADA CV CTR**

Fadly Rizky¹, Dony Sastra², Oktavian Endiyansyah³, Febe Seren⁴, Didit D. R.⁵

Faculty of Engineering, Universitas Widyatama

fadly.dermawan@widyatama.ac.id, dony.sastra@widyatama.ac.id,
oktavian.endiyansyah@widyatama.ac.id, dony.sastra@widyatama.ac.id, febe.seren@widyatama.ac.id

ABSTRAK

Mesin pemintal memiliki peran penting dalam proses produksi, namun seiring waktu, peningkatan usia dan frekuensi penggunaan menyebabkan penurunan efisiensi serta peningkatan biaya operasional. Untuk mengoptimalkan pengelolaan aset mesin, dilakukan perhitungan dengan mempertimbangkan umur mesin, biaya perawatan, nilai sisa, serta pendapatan operasional per tahun. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun strategi penggantian mesin pemintal tali sumbu di CV CTR menggunakan pendekatan *Dynamic Programming*. Data diperoleh melalui wawancara terstruktur dan studi dokumen internal perusahaan, yang mencakup informasi teknis dan finansial. Perhitungan dilakukan secara rekursif mundur selama horizon perencanaan enam tahun untuk mengevaluasi berbagai skenario keputusan, baik mempertahankan maupun mengganti mesin. Hasil analisis menunjukkan bahwa strategi terbaik dimulai dengan mengganti mesin pada tahun pertama, mempertahankan pada tahun kedua, mengganti kembali pada tahun ketiga, dan mempertahankan hingga awal tahun keenam. Strategi tersebut menghasilkan pendapatan bersih maksimal sebesar Rp203.170.000 per tahun dan dinilai paling efisien dibandingkan alternatif lainnya. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode *Dynamic Programming* efektif dalam merumuskan kebijakan penggantian mesin yang berbasis data, terukur, dan mendukung efisiensi biaya operasional jangka panjang.

Kata kunci: Penggantian mesin, *Dynamic Programming*, Manajemen Operasi, Manajemen Perawatan

ABSTRACT

Spinning machines play a crucial role in the production process. However, over time, increasing machine age and usage frequency lead to a decline in operational efficiency and a rise in operating costs. To optimize asset management, this study performs calculations by considering machine age, maintenance costs, salvage value, and annual operational revenue. This research aims to formulate an optimal replacement strategy for spinning machines at CV CTR using the Dynamic Programming approach. Data were collected through structured interviews and an internal document review, covering both technical and financial information. Calculations were carried out using a backward recursion method over a six-year planning horizon to evaluate various decision scenarios, including whether to retain or replace

the machine. The results show that the best strategy involves replacing the machine in the first year, retaining it in the second year, replacing it again in the third year, and retaining it through the beginning of the sixth year. This strategy yields a maximum net income of Rp203,170,000 per year and is considered the most efficient compared to other alternatives. The study concludes that Dynamic Programming is effective in formulating data-driven and measurable machine replacement policies that support long-term operational cost efficiency.

Keywords: *Machine Replacement, Dynamic Programming, Operations Management, Maintenance Management*

1. PENDAHULUAN

CV CTR merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak dalam produksi tali sumbu, di mana kelangsungan operasionalnya sangat bergantung pada kinerja mesin pemintal. Mesin ini memiliki peran vital dalam mengubah serat menjadi benang dengan volume tinggi dan kecepatan yang jauh melampaui metode pemintalan manual. Untuk memenuhi target produksi harian dan mingguan, operasional mesin dilakukan secara intensif dan berkelanjutan. Namun, seiring dengan bertambahnya usia dan frekuensi penggunaan, efisiensi operasional mesin mengalami penurunan yang signifikan, yang pada gilirannya meningkatkan biaya perawatan dan risiko kerusakan serta menurunkan produktivitas perusahaan secara keseluruhan.

Penelitian (D'Aversa & Shapiro, 1978; Amalnik & Pourgharibshahi, 2017) menunjukkan bahwa mesin yang telah beroperasi selama lebih dari tiga tahun berisiko mengalami penurunan produktivitas sebesar 10–20 persen per tahun, tergantung pada jenis dan intensitas penggunaannya. Oleh karena itu, pengambilan keputusan terkait mempertahankan atau mengganti mesin menjadi aspek strategis yang berdampak langsung terhadap efisiensi biaya dan keberlanjutan operasional perusahaan. Keputusan penggantian mesin bukanlah keputusan tunggal yang dapat ditentukan dalam satu periode, melainkan serangkaian keputusan yang saling berkelanjutan dalam suatu horizon waktu tertentu. Keputusan untuk mengganti mesin pada satu tahun tertentu akan memengaruhi biaya, pendapatan, dan kondisi aset pada tahun-tahun berikutnya. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang dapat mempertimbangkan efek kumulatif dari setiap keputusan, serta mampu mengevaluasi pilihan-pilihan secara bertahap.

Dalam buku *Operation research: an introduction Tenth Edition* (Taha, 2017) menegaskan bahwa *Dynamic Programming* merupakan pendekatan yang sangat efektif untuk menyelesaikan masalah pengambilan keputusan bertahap (*multistage decision problems*). Taha menjelaskan bahwa dengan memanfaatkan prinsip optimalitas Bellman, setiap keputusan dapat dievaluasi berdasarkan kontribusinya terhadap keputusan-keputusan masa depan, menjadikan DP sebagai alat yang kuat dalam perencanaan penggantian peralatan dan pengelolaan aset jangka panjang. Pendekatan DP juga banyak diterapkan dalam penjadwalan pemeliharaan (*maintenance scheduling*).

Dalam buku (Taha, 2017) juga membahas aplikasi metode *Operations Research* dalam pengelolaan sistem perawatan melalui model penggantian dan perencanaan pemeliharaan

(*replacement and maintenance models*). Dalam bab mengenai *Equipment Replacement*, Taha menyajikan model dinamis yang mempertimbangkan biaya perawatan, nilai sisa, serta umur ekonomis aset sebagai parameter utama dalam pengambilan keputusan. Model ini digunakan untuk menentukan titik optimal kapan suatu aset sebaiknya diganti dibanding dipertahankan. Hal ini sejalan dengan prinsip manajemen perawatan, yang tidak hanya bertujuan menjaga kondisi fisik mesin, tetapi juga mengelola biaya total kepemilikan (*total cost of ownership*). Dengan menggunakan model seperti *Dynamic Programming*, pengambilan keputusan perawatan dan penggantian dapat dilakukan secara sistematis dan berbasis data.

Dalam buku (Taha, 2017) juga mengatakan Manajemen operasi berfokus pada merancang, mengelola, dan meningkatkan sistem produksi barang secara efisien. Dalam praktiknya, manajemen operasi mencakup aspek-aspek seperti perencanaan kapasitas, penjadwalan produksi, pengelolaan inventori, hingga evaluasi performa mesin dan fasilitas. menjelaskan bahwa pengambilan keputusan dalam manajemen operasi selalu berkaitan dengan *trade-off* antara biaya, kualitas, waktu, dan fleksibilitas sistem produksi. Ketika perusahaan menghadapi permasalahan mesin yang menua, keputusan seperti mempertahankan atau mengganti aset produksi harus mempertimbangkan efisiensi biaya jangka panjang. Oleh karena itu, manajemen operasi berperan penting dalam menyediakan kerangka sistematis untuk merumuskan kebijakan penggantian mesin berbasis data, dengan mempertimbangkan kapasitas produksi

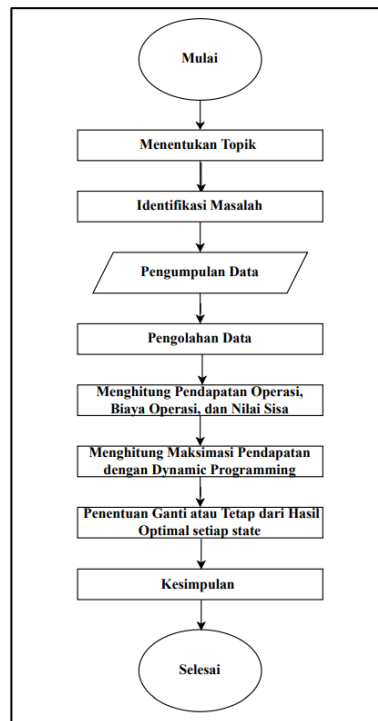
Dalam kaitannya dengan operasi mesin dan proses produksi, (Taha, 2017) mengaitkan peran sistem mesin dengan efisiensi keseluruhan dalam proses industri melalui studi kasus dalam topik *sequencing, scheduling, dan capacity planning*. Ia menyebut bahwa penggunaan pendekatan optimasi, seperti *dynamic programming*, dapat diterapkan dalam mengelola urutan operasi mesin, alokasi waktu produksi, dan perencanaan beban kerja mesin berdasarkan parameter performa. Mesin sebagai aset produktif dipandang sebagai bagian dari sistem serial yang memiliki hubungan antar tahap produksi, di mana performa tiap tahap berdampak pada *output* keseluruhan. Oleh karena itu, evaluasi terhadap performa mesin dan keputusan penggantianannya adalah bagian dari optimasi sistem produksi secara menyeluruh.

Penelitian dari (Fauzi & Mansor, 2018) algoritma DP digunakan untuk menyusun jadwal pemeliharaan yang mempertimbangkan ketidakpastian dalam proses perawatan, seperti ketersediaan transportasi, suku cadang, atau tenaga kerja. Model tersebut memanfaatkan struktur topologi dan prinsip rekursif DP untuk menentukan urutan kegiatan pemeliharaan optimal pada berbagai lokasi dengan mempertimbangkan waktu tempuh dan waktu kerja. Hasilnya menunjukkan bahwa model DP mampu menghasilkan jadwal yang adaptif dan efisien dalam menghadapi ketidakpastian di lapangan. Model ini secara matematis meminimasi total waktu pemeliharaan sambil memperhitungkan faktor dinamis di setiap tahapan keputusan.

Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan kebijakan penggantian mesin pemintal yang optimal di CV CTR menggunakan pendekatan *Dynamic Programming*. Tujuan utamanya adalah meminimalkan total biaya selama periode perencanaan atau memaksimalkan pendapatan bersih dengan mempertimbangkan variabel-variabel utama seperti umur mesin,

biaya perawatan, dan nilai sisa aset. Secara khusus, penelitian ini ingin (1) menyusun keputusan optimal antara mempertahankan atau mengganti mesin pada setiap periode, (2) mengukur dampak umur mesin terhadap biaya dan pendapatan operasional, serta (3) memberikan rekomendasi strategis untuk pengelolaan aset mesin secara efisien.

2. METODE



Gambar 1 *Flowchart* Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yang digambarkan dalam bentuk flowchart pada Gambar 1. Langkah pertama dimulai dengan menentukan topik penelitian, yakni pengambilan keputusan penggantian mesin menggunakan pendekatan *Dynamic Programming*. Setelah topik ditetapkan, langkah berikutnya adalah melakukan identifikasi masalah, yaitu menentukan kapan waktu yang paling tepat untuk mengganti mesin agar pendapatan dapat dimaksimalkan dan biaya operasional dapat diminimalkan.

Selanjutnya dilakukan proses pengumpulan data yang berkaitan dengan umur mesin, biaya operasi tahunan, pendapatan operasional, serta nilai sisa mesin. Data yang telah diperoleh kemudian masuk ke tahap pengolahan, untuk disusun dan diklasifikasikan sesuai dengan kebutuhan perhitungan.

Tahap berikutnya adalah menghitung pendapatan operasi, biaya operasi, dan nilai sisa untuk setiap umur mesin pada masing-masing periode. Hasil dari perhitungan tersebut kemudian digunakan dalam proses maksimisasi pendapatan dengan pendekatan *Dynamic Programming*,

yang bertujuan untuk mengevaluasi seluruh jalur keputusan yang mungkin terjadi (baik mempertahankan atau mengganti mesin) dalam setiap periode.

Setelah nilai optimal pada setiap *state* diperoleh, dilakukan penentuan keputusan ganti atau tetap berdasarkan hasil perhitungan pada tiap kondisi umur dan waktu. Proses ini memberikan strategi optimal berupa kapan mesin harus diganti dan kapan harus dipertahankan. Langkah akhir dari metode ini adalah menyusun kesimpulan dari hasil analisis yang dilakukan untuk mendukung pengambilan keputusan secara kuantitatif dan sistematis.

Dynamic programming adalah metode matematika untuk membuat serangkaian keputusan terkait yang bertujuan memaksimalkan keuntungan dengan mengurutkan kebijakan keputusan berdasarkan manfaatnya (Simbolon & Nasution, 2024). Dalam konteks penggantian mesin, pemrograman dinamis digunakan untuk menentukan strategi optimal antara mempertahankan atau mengganti mesin pada setiap tahapan waktu tertentu, dengan mempertimbangkan nilai bersih kumulatif yang dapat diperoleh dari masing-masing alternatif keputusan. Proses perhitungan dilakukan secara mundur (*backward recursion*), mulai dari tahun terakhir dalam horizon perencanaan (Farha, 2024).

Model penggantian peralatan yang diterapkan dalam penelitian ini memiliki fungsi tujuan untuk memaksimalkan pendapatan. Oleh karena itu, performansi solusi optimal diukur berdasarkan pendapatan maksimal $r(t)$ pada umur peralatan tertentu t .

Beberapa notasi yang digunakan dalam model ini adalah sebagai berikut:

- $r(t)$: pendapatan yang dihasilkan oleh peralatan dengan umur t tahun pada awal tahun tersebut.
- $c(t)$: biaya operasi yang timbul dari penggunaan peralatan dengan umur t tahun.
- $s(t)$: nilai sisa dari mesin yang telah beroperasi selama t tahun.
- I : harga pembelian mesin baru.
- $f_i(t)$: pendapatan bersih pada tahun ke- i ketika mesin memiliki umur t tahun pada awal tahun ke- i .

Dalam model pemrograman dinamis ini, komponen utamanya adalah sebagai berikut:

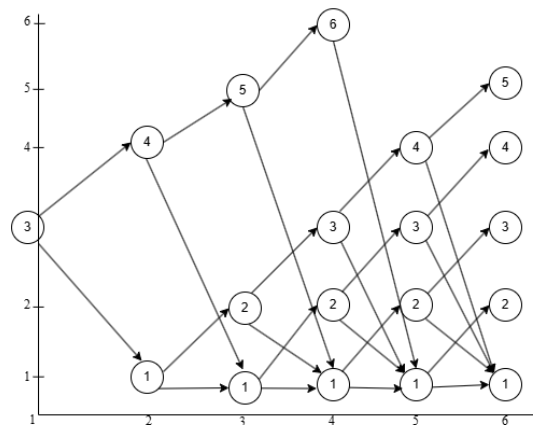
1. Tahap i merepresentasikan tahun ke- i , untuk $i=1,2,\dots, n$.
2. Alternatif keputusan pada tahap i terdiri dari dua pilihan, yaitu mempertahankan peralatan lama (keep/K) atau mengganti dengan mesin baru (replace/R) pada awal tahun ke- i .
3. Status pada tahap i menunjukkan umur peralatan pada awal tahun ke- i .

Solusi optimal diperoleh dengan menggunakan persamaan rekursif mundur, dimulai dari tahap akhir (tahun ke-6) menuju tahap awal. Persamaan dasar dan rekursifnya adalah:

$$f_i(t) = \max \begin{cases} \text{basis: } r(t) + s(t+1) = c(t) & \text{Jika dipertahankan (1)} \\ \text{basis: } r(0) + s(t) + s(1) - I - c & \text{Jika diganti (2)} \end{cases}$$

$$f_i(t) = \max \begin{cases} r(t) - c(t) + f_{i+1}(t+1) & \text{Jika dipertahankan (3)} \\ r(0) + s(t) - I - c(0) + f_{i+1}(t+1) & \text{Jika diganti (2)} \end{cases}$$

Diagram alternatif keputusan pergantian mesin ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alternatif Keputusan Pergantian Mesin

Gambar di atas menyajikan diagram jalur keputusan pergantian mesin selama periode perencanaan enam tahun. Diagram ini merepresentasikan kemungkinan jalur yang dapat diambil perusahaan dalam memutuskan apakah mesin akan dipertahankan atau diganti setiap tahunnya. Sumbu horizontal menunjukkan urutan waktu (tahun ke-1 hingga ke-6), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan kondisi umur mesin di awal masing-masing tahun. Setiap titik (node) dalam diagram merepresentasikan umur mesin tertentu pada suatu tahun, sementara panah yang menghubungkan node menunjukkan transisi akibat keputusan manajerial.

Keputusan mempertahankan mesin menyebabkan umur mesin bertambah satu tahun di tahun berikutnya, sementara keputusan mengganti mesin menyebabkan umur mesin kembali ke tahun pertama pemakaian. Oleh karena itu, diagram ini menggambarkan struktur keputusan bercabang yang membentuk pola logis dari seluruh kemungkinan kombinasi jalur kebijakan.

Secara struktural, pada awal tahun keputusan ke-2, mesin dapat berada dalam kondisi umur 1 tahun (jika mesin diganti pada tahun ke-1), atau umur 4 tahun (jika mesin dipertahankan dari umur 3 tahun). Di tahun ke-3, terdapat kemungkinan kondisi umur mesin 1 tahun (jika diganti pada tahun ke-2), 2 tahun (jika diganti pada tahun ke-1 lalu dipertahankan), atau 5 tahun (jika mesin tidak pernah diganti sejak awal). Kemudian, pada tahun ke-4, kondisi umur mesin dapat

berupa 1 tahun (jika baru diganti), 2 tahun (jika diganti tahun ke-2 lalu dipertahankan), 3 tahun (jika diganti tahun ke-1 dan dipertahankan dua kali), atau 6 tahun (jika tidak pernah diganti selama tiga tahun berturut-turut).

Pada awal tahun ke-5, kondisi mesin dapat berumur 1 hingga 4 tahun, tergantung pada jalur keputusan sebelumnya. Begitu pula di awal tahun ke-6, terdapat lima kemungkinan umur mesin, yaitu 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun. Pola ini mencerminkan kombinasi semua kemungkinan keputusan tahunan yang dilakukan sejak tahun pertama.

Struktur jaringan keputusan ini memungkinkan perusahaan untuk memetakan dan mengevaluasi seluruh skenario keputusan penggantian mesin dengan mempertimbangkan umur, biaya, dan manfaat ekonomi yang melekat. Dengan demikian, diagram ini menjadi alat bantu penting dalam menyusun strategi penggantian mesin yang optimal berbasis pendekatan *Dynamic Programming*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan data primer dengan melakukan observasi langsung dan wawancara terstruktur. Penelitian ini menggunakan data produksi dan pendapatan, dan biaya operasional. Pengolahan data menggunakan *Dynamic Programming* untuk menghasilkan sebuah kebijakan penggantian mesin yang optimal yang akan memberikan total biaya kumulatif terendah atau keuntungan kumulatif tertinggi bagi CV CTR selama periode perencanaan yang ditentukan, dan metode garis lurus (*straight line method*) untuk mencatat penurunan nilai aset tetap dari waktu ke waktu. *Dynamic Programming* sebagai metode optimasi yang kami gunakan memiliki tujuan strategis untuk membantu CV CTR dalam mengambil keputusan paling optimal terkait pengelolaan asset perusahaan, yaitu mesin pemintal tali sumbu. Data primer yang didapatkan tercantum dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Data Kebutuhan

Keterangan	Jumlah	Satuan
Target Operasi	10	kg
Harga	Rp 29.000,00	Kg
Total Target Pendapatan	Rp 83.520.000,00	Tahun
Biaya Gaji Karyawan	Rp 2.000.000,00	Bulan
	Rp 24.000.000,00	Tahun
Maintenance Mesin	Rp 7.200.000,00	Tahun
Biaya Listrik	Rp 1.200.000,00	Bulan
	Rp 14.400.000,00	Tahun
Total Biaya Operasi	Rp 45.600.000,00	Tahun

Keterangan	Jumlah	Satuan
Harga Mesin	Rp 28.000.000,00	Beli
Biaya Penyusutan	Rp 4.666.666,67	Tahun
Umur mesin saat ini	3	Tahun

Diperlukan juga data input yang bisa digunakan untuk model *Dynamic Programming*, hasil tersebut tercantum dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Data Input Dynamic Programming

Umur (tahun)	Pendapatan Operasi (Rp juta)	Biaya Operasi (Rp juta)	Nilai Sisa (Rp juta)
0	83,52	45,60	-
1	82,68	46,06	23,33
2	81,86	46,52	18,67
3	81,04	46,98	14,00
4	80,23	47,45	9,34
5	79,43	47,93	4,67
6	78,63	48,41	0,00

Data pada Tabel 2 menunjukkan informasi kinerja ekonomi mesin pemintal tali sumbu yang digunakan di CV CTR, terhitung sejak tahun pertama mesin dioperasikan hingga mencapai usia maksimal enam tahun. Data yang ditampilkan mencakup estimasi pendapatan bersih tahunan, biaya operasional, serta nilai sisa mesin selama masa penggunaan.

Target operasi mesin adalah sebesar 10 kilogram per hari dengan harga jual rata-rata Rp29.000,00 per kilogram. Dengan estimasi hari kerja tetap sepanjang tahun, total target pendapatan tahunan mencapai Rp83.520.000,00. Biaya operasional tahunan mencakup beberapa komponen utama, antara lain: gaji karyawan sebesar Rp24.000.000,00 per tahun, biaya listrik sebesar Rp14.400.000,00 per tahun, dan estimasi biaya *maintenance* mesin sebesar Rp7.200.000,00 per tahun. Dengan demikian, total biaya operasional tahunan adalah sebesar Rp45.600.000,00.

Pendapatan bersih pada tahun pertama diperoleh dengan mengurangi total biaya operasional dari total target pendapatan, yaitu sebesar Rp37.920.000,00. Biaya operasional diperkirakan meningkat sebesar 2% setiap tahunnya akibat peningkatan kebutuhan perawatan dan potensi

penurunan efisiensi mesin, sehingga berdampak langsung terhadap penurunan pendapatan bersih tahunan.

Nilai sisa mesin dihitung berdasarkan metode *straight line*, yaitu sebesar Rp28.000.000,00 – (Nilai Residu × periode). Dengan pengurangan nilai residu sebesar Rp4.666.666 ini mencerminkan estimasi *residual value* mesin apabila dijual kembali setelah digunakan dalam periode tertentu.

Perhitungan pemrograman dinamis dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan rekursif mundur, yaitu dimulai dari tahap terakhir (tahap ke-6), kemudian ditelusuri ke tahap sebelumnya hingga tahap pertama. Proses ini bertujuan untuk menentukan strategi penggantian mesin yang menghasilkan nilai optimal (maksimum) dari pendapatan bersih kumulatif dalam horizon perencanaan selama 6 tahun.

Pada tahap ke-6, evaluasi dilakukan terhadap lima kondisi umur mesin: 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada umur 1 tahun, nilai bersih tertinggi diperoleh dengan mempertahankan mesin (T). Diikuti tahun kedua sampai tahun kelima dengan hasil yang sama mempertahankan mesin (T). Nilai optimal pada setiap alternatif keputusan dicantumkan pada Tabel 3. 1.

$$f_6(S_6x_6) = \begin{cases} R(S_6) - C(S_6) + f_7^*(S_7) & ; x_6 = T \\ R(0) - C(0) + A(S_6) - B + f_7^*(S_7) & ; x_6 = G \end{cases}$$

$$f_7^*(S_7x_7) = 0$$

Tabel 3 Hasil Perhitungan Rekursif Mundur Tahap ke-6 (i=6)

S6	x6=T	X6=G	f6*(S6)	X6*
1	36,63	Rp 33,25	36,63	T
2	35,34	Rp 28,59	35,34	T
3	34,06	Rp 23,92	34,06	T
4	32,78	Rp 19,26	32,78	T
5	31,50	Rp 14,59	31,50	T

Pada tahap ke-5, evaluasi dilakukan terhadap empat kondisi umur mesin: 1, 2, 3, dan 4 tahun. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada umur 1, nilai bersih tertinggi diperoleh dengan mempertahankan mesin (T). Diikuti tahun kedua sampai tahun kelima dengan hasil yang sama mempertahankan mesin (T). Nilai optimal pada setiap alternatif keputusan dicantumkan pada Tabel 3. 2.

$$f_5(S_5x_5) = \begin{cases} R(S_5) - C(S_5) + f_6^*(S_6) & ; x_5 = T \\ R(0) - C(0) + A(S_5) - B + f_6^*(S_6) & ; x_5 = G \end{cases}$$

Tabel 4 Hasil Perhitungan Rekursif Mundur Tahap ke-5 (i=5)

S5	x5=T	X5=G	f5*(S5)	X5*
1	71,97	Rp 69,88	71,97	T
2	69,40	Rp 65,22	69,40	T
3	66,84	Rp 60,55	66,84	T
4	64,28	Rp 55,88	64,28	T

Pada tahap ke-4, evaluasi dilakukan terhadap empat kondisi umur mesin: 1, 2, 3, dan 6 tahun. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada umur 1 tahun, nilai bersih tertinggi diperoleh dengan mempertahankan mesin (T). Diikuti tahun kedua sampai tahun kelima dengan hasil yang sama mempertahankan mesin (T). Nilai optimal pada setiap alternatif keputusan dicantumkan pada Tabel 3. 3.

$$f_4(S_4, x_4) = \begin{cases} R(S_4) - C(S_4) + f_5^*(S_5) & ; x_4 = T \\ R(0) - C(0) + A(S_4) - B + f_5^*(S_5) & ; x_4 = G \end{cases}$$

Tabel 5 Hasil Perhitungan Rekursif Mundur Tahap ke-4 (i=4)

S4	x4=T	X4=G	f4*(S4)	X4*
1	106,03	Rp 105,22	106,03	T
2	102,18	Rp 100,56	102,18	T
3	98,34	Rp 95,89	98,34	T
6	102,20	Rp 91,23	102,20	T

Tahap ke-3 mengevaluasi keputusan terhadap kondisi umur mesin 1, 2, dan 5 tahun. Berdasarkan hasil perhitungan, pada umur mesin 1 dan 2 tahun, nilai optimal diperoleh melalui keputusan mempertahankan mengganti mesin (G). Sedangkan untuk umur mesin 5 tahun, nilai optimal diperoleh dengan keputusan mempertahankan mesin (T). Tabel 3.4 berikut menunjukkan hasil lengkapnya.

$$f_3(S_3, x_3) = \begin{cases} R(S_3) - C(S_3) + f_4^*(S_4) & ; x_3 = T \\ R(0) - C(0) + A(S_3) - B + f_4^*(S_4) & ; x_3 = G \end{cases}$$

Tabel 6 Hasil Perhitungan Rekursif Mundur Tahap ke-3 (i=3)

S3	x3=T	X3=G	f3*(S4)	X3*
1	138,81	139,28	139,28	G
2	133,68	134,62	134,62	G
5	133,70	129,95	133,70	T

Pada tahap ke-2, mesin dengan umur 1 dan 4 tahun dievaluasi. Hasil menunjukkan bahwa untuk umur mesin 1 tahun, keputusan optimal adalah mempertahankan mesin (T). Sedangkan untuk mesin dengan umur 4 tahun, nilai tertinggi justru diperoleh dengan mengganti mesin (G). Rangkuman hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 3. 5.

$$f_2(S_2x_2) = \begin{cases} R(S_2) - C(S_2) + f_3^*(S_3) & ; x_2 = T \\ R(0) - C(0) + A(S_2) - B + f_3^*(S_3) & ; x_2 = G \end{cases}$$

Tabel 7 Hasil Perhitungan Rekursif Mundur Tahap ke-2 (i=2)

S2	x2=T	X2=G	f2*(S4)	X2*
1	171,24	149,21	171,24	T
4	166,48	149,20	166,48	T

Tahap pertama merupakan awal pengambilan keputusan. Evaluasi dilakukan pada mesin dengan umur awal 3 tahun. Berdasarkan perhitungan, keputusan optimal adalah mengganti mesin, karena nilai bersih kumulatif yang diperoleh dari penggantian lebih tinggi dibandingkan mempertahankan mesin. Rangkuman hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 3. 6.

$$f_1(S_1x_1) = \begin{cases} R(S_1) - C(S_1) + f_2^*(S_2) & ; x_1 = T \\ R(0) - C(0) + A(S_1) - B + f_2^*(S_2) & ; x_1 = G \end{cases}$$

Tabel 8 Hasil Perhitungan Rekursif Mundur Tahap ke-1 (i=1)

S1	x1=T	X1=G	f1*(S4)	X1*
3	200,53	203,17	203,17	G

Setelah data diklasifikasikan dan dihitung, dilakukan pemodelan *Dynamic Programming* untuk menentukan strategi penggantian mesin yang paling menguntungkan dalam periode perencanaan selama enam tahun. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa keputusan optimal yang dapat diambil oleh perusahaan terkait penggantian mesin pemintal tali adalah sebagai berikut:

1. Pada tahun ke-1, mesin diganti, sehingga umur mesin pada awal periode tahun ke-2 adalah 1 tahun.
2. Pada tahun ke-2, mesin dipertahankan, sehingga umur mesin pada awal periode tahun ke-3 adalah 2 tahun.
3. Pada tahun ke-3, mesin diganti, sehingga umur mesin pada awal periode tahun ke-4 adalah 1 tahun.
4. Pada tahun ke-4, mesin dipertahankan, sehingga umur mesin pada awal periode tahun ke-5 adalah 2 tahun.
5. Pada tahun ke-5, mesin dipertahankan, sehingga umur mesin pada awal periode tahun ke-6 adalah 3 tahun.
6. Periode tahun keputusan ke-6 tidak termasuk dalam proses pengambilan keputusan karena merupakan tahun terakhir dalam horizon perencanaan, sehingga keputusan dianggap berakhir di awal periode tahun ke-6.

Strategi ini dipilih karena memberikan nilai pendapatan bersih kumulatif tertinggi dibandingkan jalur alternatif lainnya. Keputusan-keputusan tersebut dihasilkan berdasarkan evaluasi sistematis terhadap pendapatan dan biaya tahunan dari setiap kondisi umur mesin, serta perhitungan nilai bersih yang diperoleh dari mempertahankan atau mengganti mesin. Dengan mengikuti strategi ini, perusahaan dapat memaksimalkan efisiensi biaya perawatan dan investasi, sekaligus meminimalkan risiko kerugian akibat penurunan performa mesin.

Model *Dynamic Programming* yang digunakan tidak hanya membantu dalam menentukan waktu penggantian yang tepat, tetapi juga berperan sebagai alat bantu pengambilan keputusan jangka panjang dalam pengelolaan aset. Keputusan yang diambil bersifat kuantitatif dan berbasis data aktual, sehingga lebih dapat dipertanggungjawabkan secara manajerial.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menyusun keputusan optimal terkait penggantian mesin pemintal di CV CTR, di mana strategi terbaik dimulai dengan mengganti mesin pada tahun pertama, mempertahankan mesin pada tahun kedua, kembali melakukan penggantian pada tahun ketiga, lalu mempertahankan mesin hingga awal tahun keenam. Pola keputusan tersebut diperoleh melalui pendekatan *Dynamic Programming* dan memberikan hasil paling optimal dalam horizon perencanaan enam tahun.

Analisis juga menunjukkan bahwa umur mesin memiliki pengaruh signifikan terhadap biaya dan pendapatan operasional. Mesin dengan umur yang lebih tua cenderung mengalami peningkatan biaya perawatan serta penurunan efisiensi, yang berdampak pada menurunnya pendapatan bersih tahunan. Hal ini menegaskan pentingnya pengambilan keputusan penggantian mesin yang tepat waktu untuk menjaga kinerja operasional.

Model yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan rekomendasi strategis bagi pengelolaan aset mesin secara efisien. Perhitungan berbasis data memungkinkan manajemen untuk menyusun kebijakan investasi mesin yang rasional dan terukur. Berdasarkan keputusan optimal yang diperoleh, perusahaan berpotensi mencapai pendapatan bersih maksimal sebesar Rp203.170.000 dalam satu tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalnik, M. S., & Pourgharibshahi, M. (2017). *An optimal maintenance policy for machine replacement problem using dynamic programming. Management science letters*, 7(6), 311-320.
- Daryus, A. (2007). *Manajemen Pemeliharaan Mesin. Jakarta.*
- Dewi, D. R. S., & Endah, D. (2011). Pengembangan Algoritma Penjadwalan Dan *Maintenance* Mesin (Studi Kasus Di PT.“X”). *Jurnal Teknik Industri*, 12(2), 192-202.
- Farha, A. H. (2024). PENERAPAN METODE PENYUSUTAN ASET TETAP PADA PT SUMBER ALFARIA TRIJAYA Tbk. DASAN CERMEN MATARAM. *Solid*, 14(1), 6.

-
- Fauzi, Z. A. M., & Mansor, M. A. (2018). *Development of Dynamic Programming Algorithm for Maintenance Scheduling Problem: A Conceptual Paper*. *International Journal of Engineering Technology and Sciences*. <https://doi.org/10.15282/ijets.v5i1.2823>
- Latib, I., & Doaly, C. O. (2018). Usulan Penjadwalan Penggantian dan Pemeriksaan Komponen Kritis Mesin *Feeder* dan *Fanblower* (Studi Kasus di PT. Petnesia Resindo). *Jurnal Teknik Industri*, 8(2), 93-104.
- Nezhad, M. S. F., & Niaki, S. T. A. (2011). *A multi-stage two-machines replacement strategy using mixture models, bayesian inference, and stochastic dynamic programming*. *Communications in Statistics - Theory and Methods*. <https://doi.org/10.1080/03610920903453459>
- Simbolon, H. M., & Nasution, P. K. (2024). *Penerapan Metode Dynamic Programming dan Fuzzy Linear Programming Dalam Mengoptimasi Keuntungan serta Jumlah Produksi Padi*. 7(2), 243–250.
- Sultan, K., Suliawati, S., & Novarika, W. (2024). Perhitungan Umur Ekonomis Mesin Conveyor di PT Wings Group. *II*(2).
- Taha, H. A. (2017). *Operations Research An Introduction tenth edition*. In *pearson Education*.