

ANALISIS PENGAMBILAN KEPUTUSAN PENGANTIAN ALAT BERAT EXCAVATOR DAN BULLDOZER PADA PT. X MENGGUNAKAN METODE *DEFENDER - CHALLENGER*

Ivan Arfiansyah Putra¹, Ekodjati Tunggulgeni²,
Sayed Ahmad Fauzan³, Ricky Harianja⁴, Suprayogi⁵,
Samudra⁶, Yuda Adi Surya⁷

¹⁶⁷Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan,
Universitas Pertahanan Republik Indonesia

²³⁴⁵Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan,
Universitas Pertahanan Republik Indonesia

ivanarfiansyah16@gmail.com¹, ekodjati2463@gmail.com², sayed.fauzan@idu.ac.id³,
rickyharianja.ce@gmail.com⁴, suprayogi0463@gmail.com⁵, adisuryayuda@gmail.com⁷

SUBMITTED 16 MEI 2025 REVISED 20 JULI 2025 ACCEPTED 22 JULI 2025

ABSTRACT

Management of heavy equipment such as bulldozers and excavators is an important aspect carried out by PT. X in order to maintain the company's performance and economic stability. By considering the economic life of heavy equipment, the defender - challenger method using the concept of annual equivalent value can be used to conduct an analysis of heavy equipment replacement through several replacement scenarios. The research conducted focused on the BL 032 - 20 bulldozer and CE 130 - 20 excavator with a total of 7 replacement scenarios starting from after the economic life of the heavy equipment (4 years) has expired to 6 years after the economic life of the heavy equipment has expired. From the results of the scenarios carried out, it was found that the bulldozer heavy equipment will obtain the highest annual equivalent value of Rp. 138,582,757 in the scenario 5 or 4 years after the economic life of the equipment has expired, namely in the year or when the age of the heavy equipment is 8 years. Meanwhile, the excavator will obtain the highest annual equivalent value of Rp. 204,325,033 in the 4 or 3 year scenario after the equipment's economic life is over, namely in 2026 or when the heavy equipment is 7 years old. With the results of this analysis, it can be used as a benchmark in considering the timing of heavy equipment replacement for PT. X to obtain maximum profit from each piece of heavy equipment.

Keywords: Annual, Bulldozer, Challenger, Defender, Equivalent, Excavator, Method

ABSTRAK

Pengelolaan alat berat seperti bulldozer dan excavator merupakan sebuah aspek penting yang dilakukan bagi PT. X guna menjaga performa dan stabilitas ekonomi perusahaan. Dengan mempertimbangkan umur ekonomis alat berat, metode *defender – challenger* dengan menggunakan konsep nilai *annual ekuivalen* dapat digunakan untuk melakukan suatu analisis penggantian alat berat melalui beberapa skenario penggantian. Penelitian yang dilakukan berfokus terhadap alat berat bulldozer BL 032 – 20 dan excavator CE 130 – 20 dengan total 7 skenario penggantian yang dimulai dari setelah umur ekonomis alat berat (4 tahun) habis hingga 6 tahun setelah umur ekonomis alat berat habis. Dari hasil skenario yang dilakukan, didapatkan bahwa pada alat berat bulldozer akan memperoleh nilai *annual ekuivalen* tertinggi yakni sebesar Rp. 138.582.757 pada skenario 5 atau 4 tahun setelah umur ekonomis alat habis yakni pada tahun atau ketika umur alat berat 8 tahun. Sedangkan untuk excavator akan memperoleh nilai *annual ekuivalen* tertinggi sebesar Rp. 204.325.033 pada skenario 4 atau 3 tahun setelah umur ekonomis alat habis yakni pada tahun 2026 atau ketika umur alat berat 7 tahun. Dengan hasil analisis tersebut, dapat digunakan sebagai tolak

ukur dalam mempertimbangkan waktu penggantian alat berat bagi PT. X guna mendapatkan keuntungan maksimal dari setiap alat berat.

Kata Kunci : Annual, Bulldozer, *Challenger*, *Defender*, Ekuivalen, Excavator, Metode

1. PENDAHULUAN

Alat berat seperti bulldozer dan excavator memiliki peran penting dalam sektor konstruksi, terutama dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional perusahaan. Namun, seiring berjalannya waktu, performa alat berat tersebut akan mengalami penurunan akibat keausan dan perkembangan teknologi yang semakin maju. Selain itu, produktivitas pada alat berat akan menurun, serta adanya risiko kegagalan operasionalnya. Hal tersebut yang sesuai dengan konsep pada kondisi umur ekonomis dari alat berat menurut (M. Giatman, 2006) yang menjelaskan adanya peningkatan biaya yang disertai adanya penurunan nilai dari alat berat tersebut. Oleh sebab itu, perusahaan perlu mengambil keputusan strategis antara mempertahankan alat berat lama (*defender*) atau menggantinya dengan yang baru (*challenger*) dengan mempertimbangkan faktor ekonomis, termasuk biaya operasional, biaya perawatan, serta nilai investasi baru.

PT. X saat ini menggunakan sistem klasifikasi umur sebagai dasar pengambilan keputusan penggantian alat berat, yang terbagi dalam kategori muda (0–5 tahun), remaja (6–10 tahun), dan tua (>10 tahun), ditambah dengan evaluasi kondisi fisik alat. Meskipun sederhana, metode ini belum sepenuhnya mempertimbangkan aspek ekonomis secara optimal, sehingga terdapat potensi pemborosan biaya operasional dan perawatan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis biaya operasional, biaya perawatan, dan keuntungan yang dihasilkan oleh alat berat bulldozer dan excavator pada PT. X dalam beberapa tahun ke depan. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh keputusan penggantian terhadap umur ekonomis alat, biaya operasional, serta potensi peningkatan keuntungan perusahaan. Berdasarkan hasil analisis, diharapkan dapat ditentukan waktu optimal untuk melakukan penggantian alat berat tersebut, sehingga keputusan yang diambil mampu memaksimalkan efisiensi biaya dan produktivitas operasional perusahaan.

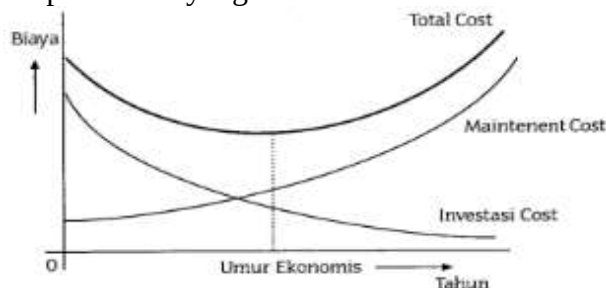
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Analisa Penggantian (Replacement Analysis)

Analisis penggantian (*replacement analysis*) bertujuan untuk menentukan waktu optimal dalam mempertahankan atau menggantikan aset seperti alat berat berdasarkan pertimbangan ekonomi. Analisis ini melibatkan perbandingan antara konsekuensi finansial dari alat berat lama (*defender*) dan alat berat baru (*challenger*) (Andriani, 2014). Keputusan ini penting untuk memaksimalkan nilai ekonomis perusahaan, mengingat performa alat berat akan menurun seiring waktu sehingga meningkatkan biaya operasional dan perawatan. Selain itu, perkembangan teknologi dan perubahan lingkungan kerja juga mendorong kebutuhan penggantian aset agar tetap kompetitif.

2.2. Konsep *Defender* dan *Challenger*

Konsep *defender-challenger* diperkenalkan oleh George Terbogh pada 1967 dan diperluas oleh Newman et al. (2004). *Defender* adalah alat berat lama yang sedang dipertimbangkan untuk dipertahankan, sedangkan *challenger* adalah opsi alat berat baru yang diproyeksikan menggantikan *defender*. Kedua opsi ini dibandingkan berdasarkan analisis biaya dan nilai ekonomis. Alat berat lama (*defender*) umumnya memiliki biaya investasi yang rendah namun biaya perawatan yang tinggi, sementara alat baru (*challenger*) membutuhkan investasi besar tetapi menawarkan efisiensi operasional yang lebih baik.



Gambar 2.1 Grafik Hubungan Biaya dengan Umur Ekonomis Alat Berat
 Sumber : Buku Ekonomi Teknik Giatman, 2006

Pada grafik diatas menjelaskan bahwa biaya di tahun pertama akan cenderung tinggi, dikarenakan adanya biaya investasi untuk pembelian alat tersebut. Sedangkan semakin bertambahnya umur pada alat berat tersebut, biaya investasi akan semakin menurun yang disebabkan adanya nilai penyusutan dari alat. Sedangkan biaya untuk pemeliharaan akan semakin tinggi akibat penurunan performa alat berat. Nilai terendah dari total biaya antara nilai investasi alat berat yang dijumlahkan dengan biaya pemeliharaan ini yang kemudian dijadikan sebagai pedoman utama nilai umur ekonomis pada alat berat tersebut.

2.3. Nilai Depresiasi pada Alat Berat

. Menurut I Nyoman Pujawan (2003), depresiasi adalah suatu penurunan nilai dari sebuah properti atau aset karena waktu dan pemakaian. Dalam perhitungan depresiasi, terdapat beberapa metode. Namun, pada penelitian ini digunakan metode *declining balance depreciation* dengan mengasumsikan penurunan akan lebih cepat pada tahun-tahun awal dibandingkan pada tahun akhir. Rumus *declining balance depreciation* adalah sebagai berikut :

$$D_i = 1 - \left[\frac{S}{B} \right]^{\frac{1}{N}}$$

Keterangan :

- D_i = Besaran depresiasi di tahun ke- i
- B = Nilai awal alat berat
- S = Nilai sisa alat berat
- N = Umur ekonomis alat berat

2.4. Konsep Nilai Ekuivalensi

Nilai ekuivalensi adalah metode untuk menghitung kesetaraan nilai uang pada waktu yang berbeda dengan mempertimbangkan faktor bunga (Giatman, 2006). Konsep ini menunjukkan bahwa nilai uang yang diterima atau dibayarkan di masa depan atau masa lalu dapat disetarakan dengan nilai di masa sekarang. Misalnya, uang sebesar Rp 250.000 saat ini setara dengan Rp 287.500 setahun kemudian atau Rp 217.391,50 setahun sebelumnya dengan tingkat bunga 15%. Konsep nilai ekuivalensi memiliki dua jenis, yakni :

1. Cashflow Tunggal (Single Payment)

Cashflow tunggal menghitung perubahan nilai uang di masa depan (Future Value, F) atau masa sekarang (Present Value, P) dengan rumus:

$$F = P(F/P . i . n)$$

$$P = F(P/F . i . n)$$

Keterangan :

P = Nilai saat ini (Present Value)

F = Nilai masa depan (Future Value)

i = Suku bunga

n = Jumlah periode

2. Cashflow Annual

Cashflow annual adalah aliran kas yang bernilai sama setiap periode dalam jangka waktu tertentu (annuity). Terdapat beberapa hubungan nilai diantaranya :

a. Annual ke Future Value:

$$F = A(F/A . i . n)$$

b. Future Value ke Annual:

$$A = F(A/F . i . n)$$

c. Annual ke Present Value:

$$P = A(P/A . i . n)$$

d. Present Value ke Annual:

$$A = P(A/P . i . n)$$

Konsep-konsep ini yang digunakan sebagai pedoman perhitungan investasi dalam berbagai periode waktu yang berbeda.

2.5. Konsep Nilai Annual Ekuivalen

Metode Annual Ekuivalen (AE) adalah konsep yang mendistribusikan seluruh arus kas (*cash flow*) secara merata pada setiap periode selama umur investasi alat berat. Pada metode AE akan mengonversi nilai pada *cashflow* menjadi pembayaran tahunan yang tetap. Distribusi ini mencakup baik arus kas masuk (*cash-in*) maupun arus kas keluar (*cash-out*). Dalam penerapannya, arus kas masuk yang diratakan per tahun disebut sebagai *Ekuivalen Uniform Annual of Benefit* (EUAB), sedangkan arus kas keluar yang diratakan disebut sebagai *Ekuivalen Uniform Annual of Cost* (EUAC). Nilai AE diperoleh dari selisih antara EUAB dan EUAC, dengan rumus sebagai berikut:

$$EUAB = \sum_{t=0}^n Cb_t(FBA)_t$$

$$EUAC = \sum_{t=0}^n Cc_t(FBA)_t$$

$$AE = EUAB - EUAC$$

Dimana:

- Cb = Cashflow Benefit (Manfaat)
- Cc = Cashflow Cost (Biaya)
- FBA = Faktor Bunga Annual
- t = Periode waktu
- n = Umur Investasi

Kriteria Keputusan Penggantian Alat Berat:

- Jika $AE \geq 0$, investasi layak dilakukan (feasible).
- Jika $AE < 0$, investasi tidak layak dilakukan (unfeasible).

2.6. Metode Forecasting Biaya Alat Berat dengan Regresi Linier

Metode *forecasting* digunakan untuk memperkirakan nilai variabel pada masa mendatang, yang penting dalam manajemen keuangan (Yudaruddin, 2019). Teknik ini membantu memproyeksikan arus kas dan memahami variasi nilainya dari data historis.

Analisis regresi linier merupakan hubungan antara variabel independen (yang mempengaruhi) dan variabel dependen (yang dipengaruhi). Persamaan regresi linier sederhana adalah:

$$y = a + bx$$

Koefisien regresi (b) dihitung dengan:

$$b = \frac{\sum XY - \left(\frac{\sum X \times \sum Y}{n} \right)}{\sum X^2 - \left(\frac{(\sum X)^2}{n} \right)}$$

Nilai konstanta (a) dihitung dengan:

$$a = \left(\frac{\sum Y}{n} \right) - b \times \left(\frac{\sum X}{n} \right)$$

Dimana:

- y = Variabel dependen (nilai yang diprediksi)
- a = Intercept atau konstanta regresi
- b = Koefisien regresi
- x = Variabel independen
- $\sum X$ = Jumlah dari variabel X (independen)
- $\sum Y$ = Jumlah dari variabel Y (dependen)
- $\sum XY$ = Jumlah hasil perkalian variabel X dengan Y
- $\sum X^2$ = Jumlah dari nilai variabel X yang telah di kuadratkan
- n = Banyaknya data yang diuji

Untuk mengetahui hubungan antar variabel secara linier, digunakan uji korelasi. Tingkat korelasi berkisar antara -1 hingga +1, dengan interpretasi sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Hubungan Tingkat Korelasi Regresi

Angka Korelasi	Tingkat Korelasi
0,00 – 0,199	Sangat Lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat Kuat

Sumber : Buku *Forecasting* Yudarudin, 2019

Rumus untuk menghitung korelasi (r) adalah:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{\sqrt{[(n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2) \cdot (n \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2)]}}$$

Dengan metode regresi linier dan analisis korelasi, prediksi biaya alat berat menjadi lebih terukur dan dapat digunakan dalam pengambilan keputusan keuangan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

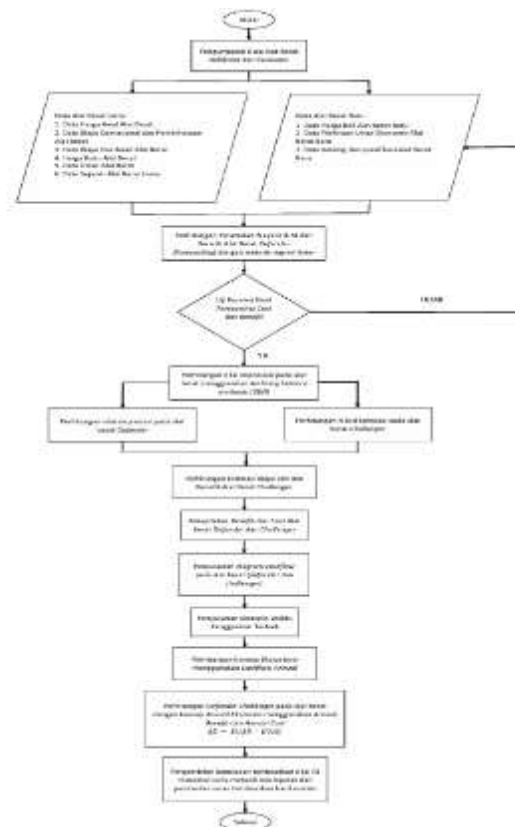
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian yang dilakukan mengambil data dari Divisi Peralatan dan Precast PT. X yang berlokasi di Jakarta. Alat berat bulldozer dan excavator yang diteliti merupakan alat berat yang sedang dioperasikan pada proyek konstruksi dari PT. X yang berada di daerah Sumbawa, Nusa Tenggara Barat dan di Sidan, Bali. Waktu penelitian dilakukan sejak pengambilan data alat berat dimulai dari bulan September 2024 hingga April 2025.

3.2. Tahapan Penelitian

Pada penelitian tersebut yang dilakukan dengan melakukan pengumpulan data – data terkait alat berat lama dan baru. Kemudian dilanjutkan dengan mengklasifikasikan data terkait biaya. Dilanjutkan dengan menganalisis *forecasting* biaya dan analisis penggantian alat berat melalui pembuatan beberapa skenario penggantian. Dan diakhiri dengan pengambilan keputusan penggantian berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh. Pada penelitian ini, data diperoleh dari hasil rekapitulasi atau database dari PT. X untuk data biaya pada setiap alat berat.

Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan dapat ditinjau melalui diagram alur penelitian berikut ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian
 Sumber : Data Penulis, 2025

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Klasifikasi Biaya dan *Benefit* Alat Berat

Klasifikasi terhadap biaya dan *benefit* pada kedua alat berat digunakan untuk mempermudah perhitungan *cashflow* pada analisis penggantian. Biaya yang digunakan dalam penyusunan *cashflow* diantaranya : biaya operasional, biaya *maintenance*, dan biaya *overhead*. Selain itu, *benefit* yang ada pada alat berat dilakukan untuk setiap bulannya. Berikut merupakan rekapitulasi dari total *cost* dan *benefit* dari kedua alat berat dalam periode 2019 – 2024 :

Tabel 4. 1 Klasifikasi Biaya dan *Benefit* Alat Berat

Jenis Alat	Periode	Biaya Operasional Alat Berat		Biaya Maintenance Alat Berat		Biaya Overhead Alat Berat			Benefit
		Upah Driver / Operator	Upah Mekanik	Pergantian Sparepart	Pemeliharaan Part	Asuransi Pekerja	Asuransi	Pajak	
Bulldozer	2019	Rp 6.084.000	Rp 9.562.500	Rp -	Rp -	Rp 390.000	Rp 23.800.000	Rp 5.600.000	Rp 70.000.000

BL 032 - 20	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	20	6.084.000	7.481.989	172.684	750.410	330.000	23.800.000	5.600.000	123.200.000
	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	21	32.532.726	38.520.133	185.750	1.342.456	1.040.000	23.800.000	5.600.000	507.150.000
	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	22	50.700.391	65.600.709	35.000.000	40.838.814	1.560.000	23.800.000	5.600.000	916.500.000
	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	23	42.000.000	55.800.000	62.000.937	15.549.143	1.560.000	23.800.000	5.600.000	462.000.000
	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	24	42.000.000	58.667.000	18.000.000	7.093.327	1.560.000	23.800.000	5.600.000	482.625.000
Jenis Alat	Periode	Biaya Operasional Alat Berat		Biaya Maintenance Alat Berat		Biaya Overhead Alat Berat		Benefit	
		Upah Driver / Operator	Upah Mekanik	Pergantian Sparepart	Pemeliharaan Part	Asuransi Pekerja	Asuransi	Pajak	
Excavator CE 130 - 20	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	19	21.473.252	29.062.500	-	-	390.000	11.942.500	2.810.000	295.610.000
	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	20	6.084.000	7.481.989	470.000	1.828.017	330.000	11.942.500	2.810.000	154.500.000
	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	21	32.002.501	38.520.133	2.465.061	6.448.525	1.040.000	11.942.500	2.810.000	411.500.000
	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	22	51.433.552	72.838.572	2.600.000	46.693.224	1.560.000	11.942.500	2.810.000	858.550.000
	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	23	37.833.334	55.800.000	66.620.000	52.124.070	1.560.000	11.942.500	2.810.000	485.450.000
	20	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
	24	42.600.000	58.267.000	15.600.000	20.180.596	1.560.000	11.942.500	2.810.000	359.860.000

Sumber : Data Penulis, 2025

4.2. Perhitungan Forecasting Alat Berat Lama (*Defender*)

Perhitungan *forecasting* atau peramalan dilakukan untuk memprediksi total biaya (O & M) serta *benefit* dari alat berat lama pada periode berikutnya. Nilai tersebut digunakan sebagai pembandingan dalam penyusunan skenario penggantian yang dihitung berdasarkan regresi linier.

Contoh perhitungan pada *forecasting benefit* untuk alat berat bulldozer BL 032-20 :
 Digunakan data :

Variabel Y = Benefit alat berat
 Variabel X aktual = Jam operasional alat berat
 Variabel X *forecast* = Rata-rata penurunan jam operasional aktual

$$= \frac{\text{Total Penurunan Jam Operasional}}{n} = \frac{80}{38} = 2,2 \text{ jam}$$

Perhitungan nilai b regresi linier

$$b = \frac{509525675000 - \left(\frac{6908 \times 2.484.225.000}{38} \right)}{1420360 - \left(\frac{(6908)^2}{38} \right)} = 351971$$

Perhitungan nilai a regresi linier

$$a = \left(\frac{2.484.225.000}{38} \right) - 351971 \times \left(\frac{6908}{38} \right) = 1389758$$

Sehingga untuk melakukan *forecasting* pada periode januari 2025 hingga desember 2029 digunakan nilai penurunan jam operasional tiap bulannya dengan persamaan :

Contoh periode Januari 2025 (nilai x = 118), maka

$$y = 1389758 + (351971 \times 118)$$

$y = \text{Rp. 42.865.235}$ untuk nilai *benefit* di januari tahun 2025

4.3. Uji Korelasi

Perhitungan uji korelasi dilakukan untuk menentukan hubungan antara hasil regresi dengan data aktualnya. Berikut merupakan hasil dari perhitungan uji korelasi untuk hasil regresi total cost dan *benefit* untuk alat bulldozer BL 032 – 20 dan excavator CE 130 – 20.

Contoh perhitungan uji hasil *forecasting benefit* BL 032 – 20 :

$$r = \frac{(98 \times 605346921471) - (10151 \times 3709137364)}{\sqrt{[(98 \times 1679796) - (10151)^2] \times [(98 \times 218412475782942000) - (3709137364)^2]}}$$

$$r = 0,9988 \approx 99,88 \% (\text{Sangat Kuat})$$

Hasil dari uji korelasi hasil regresi cost dan *benefit* untuk bulldozer dan excavator sebagai berikut :

Bulldozer BL 032 – 20 = <i>Forecasting cost</i>	= 60,53 % (Kuat)
= <i>Forecasting benefit</i>	= 99,88 % (Sangat Kuat)
Excavator CE 130 – 20 = <i>Forecasting cost</i>	= 66,06 % (Kuat)
= <i>Forecasting benefit</i>	= 98,49 % (Sangat Kuat)

4.4. Perhitungan Estimasi Cost dan Benefit Alat Baru

Estimasi *cost* dan *benefit* pada alat berat baru (*challenger*) disesuaikan dengan estimasi biaya operasional dan *maintenance* alat dalam periode 4 tahun (umur ekonomisnya). Sedangkan untuk estimasi *benefit* diasumsikan bahwa alat berat tersebut beroperasi penuh dalam periode 1 tahun (2400 jam kerja) namun dikurangi dengan jam *maintenancenya*. Berikut adalah estimasi untuk alat berat bulldozer BL 032 - 20 dan excavator CE 130 – 20.

Tabel 4. 2 Estimasi Biaya Operasional

Alat Berat	Periode	Upah Pokok		Frekuensi (Bulan)	Total Biaya Upah		Total Biaya Operasional
		Driver / Operator	Mekanik		Driver / Operator	Mekanik	

Bulldozer Komatsu D85ES S-2A	1	Rp 3.500.000	Rp4.500.000	12	Rp 42.000.000	Rp54.000.000	Rp 96.000.000
	2	Rp 3.500.000	Rp4.500.000	12	Rp 42.000.000	Rp54.000.000	Rp 96.000.000
	3	Rp 3.500.000	Rp4.500.000	12	Rp 42.000.000	Rp54.000.000	Rp 96.000.000
	4	Rp 3.500.000	Rp4.500.000	12	Rp 42.000.000	Rp54.000.000	Rp 96.000.000
Alat Berat	Periode	Biaya Operasional / Jam		Frekuensi (Bulan)	Total Biaya		Total Biaya Operasional
		Driver / Operator	Mekanik		Driver / Operator	Mekanik	
Excavator CE PC 200-10 MO	1	Rp 3.400.000	Rp4.500.000	12	Rp 40.800.000	Rp54.000.000	Rp 94.800.000
	2	Rp 3.400.000	Rp4.500.000	12	Rp 40.800.000	Rp54.000.000	Rp 94.800.000
	3	Rp 3.400.000	Rp4.500.000	12	Rp 40.800.000	Rp54.000.000	Rp 94.800.000
	4	Rp 3.400.000	Rp4.500.000	12	Rp 40.800.000	Rp54.000.000	Rp 94.800.000

Sumber : Data Penulis, 2025

Tabel 4. 3 Estimasi Benefit Alat Berat

ESTIMASI BENEFIT ALAT BERAT CHALLENGER						
Periode		Bulldozer Komatsu D85ESS-2A		Tarif Sewa / Jam		
				Jam Operasional (Jam)	Jam Maintenance (Jam)	
1	Rp	868.125.000	Rp 375.000	2315	85	
2	Rp	859.500.000	Rp 375.000	2292	108	
3	Rp	856.125.000	Rp 375.000	2283	117	
4	Rp	853.500.000	Rp 375.000	2276	124	
Periode		Excavator CE PC 200-10 MO		Tarif Sewa / Jam		
				Jam Operasional	Jam Maintenance	
1	Rp	439.850.000	Rp 190.000	2315	85	
2	Rp	431.300.000	Rp 190.000	2270	130	
3	Rp	429.590.000	Rp 190.000	2261	139	
4	Rp	428.260.000	Rp 190.000	2254	146	

Sumber : Data Penulis, 2025

4.5. Perhitungan nilai depresiasi alat berat

Perhitungan nilai depresiasi alat berat dilakukan terhadap kedua jenis alat berat (*defender* dan *challenger*). Dengan menggunakan *declining balance depreciation*, hasil dari perhitungan depresiasi sebagai berikut :

Contoh perhitungan data alat berat bulldozer BL 032 - 20 *defender*

Diketahui :

Nilai awal alat berat (B) = Rp. 2.800.000.000

Nilai sisa alat berat (S) = 25% x Rp. 2.800.000.000
 = Rp. 700.000.000

Umur ekonomis alat (N) = 4 tahun

Maka, perhitungannya sejak 2018 – 2029 adalah

$$D_{2018} = 1 - \left(\frac{700.000.000}{2.800.000.000} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,2929$$

$$D_{2018} = 29,29\%$$

Hasil dari perhitungan depresiasi sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Depresiasi Alat berat

Alat Berat	Periode	Tahun	Nilai Buku Awal	Nilai Sisa Alat	Umur Alat	Depresiasi Tahun ke-n (%)	Depresiasi dalam Nominal	Jumlah Depresiasi hingga tahun ke-n	Nilai Buku pada Akhir Tahun ke-n
BULLDOZER BL 032 - 20	0	2018	Rp 2.800.000.000	Rp 700.000.000	4	29,29 %	Rp 820.101.013	Rp 820.101.013	Rp 1.979.898.987
	1	2019	Rp 1.979.898.987	Rp 700.000.000	4	29,29 %	Rp 579.912.413	Rp 1.400.013.426	Rp 1.399.986.574
	2	2020	Rp 1.399.986.574	Rp 700.000.000	4	29,29 %	Rp 410.056.068	Rp 1.810.069.494	Rp 989.930.506
	3	2021	Rp 989.930.506	Rp 700.000.000	4	29,29 %	Rp 289.950.645	Rp 2.100.020.139	Rp 699.979.861
	4	2022	Rp 699.979.861	Rp 700.000.000	4	29,29 %	Rp 205.024.101	Rp 2.305.044.240	Rp 494.955.760
	5	2023	Rp 494.955.760	Rp 700.000.000	4	29,29 %	Rp 144.972.542	Rp 2.450.016.782	Rp 349.983.218
	6	2024	Rp 349.983.218	Rp 700.000.000	4	29,29 %	Rp 102.510.084	Rp 2.552.526.867	Rp 247.473.133
	7	2025	Rp 247.473.133	Rp 700.000.000	4	29,29 %	Rp 72.484.881	Rp 2.625.011.747	Rp 174.988.253
	8	2026	Rp 174.988.253	Rp 700.000.000	4	29,29 %	Rp 51.254.059	Rp 2.676.265.807	Rp 123.734.193
	9	2027	Rp 123.734.193	Rp 700.000.000	4	29,29 %	Rp 36.241.745	Rp 2.712.507.552	Rp 87.492.448

10	20	Rp	Rp	4	29,29	Rp	Rp	Rp
	28	87.492.4	700.000		%	25.626.	2.738.134.	61.865.9
		48	.000			538	090	10
11	20	Rp	Rp	4	29,29	Rp	Rp	Rp
	29	61.865.9	700.000		%	18.120.	2.756.254.	43.745.3
		10	.000			525	615	85

Sumber : Data Penulis, 2025

Langkah perhitungan yang sama dilakukan untuk alat berat excavator dan alat berat *challenger*.

4.6. Rekapitulasi Total Cost & Benefit

Hasil total *cost* dan *benefit* untuk alat berat lama (*defender*) dan baru (*challenger*) selanjutnya direkapitulasi untuk penyusunan diagram *cashflow* pada skenario penggantian sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Rekapitulasi Cost dan Benefit Alat Berat Defender

Tahun	CASHFLOW BULLDOZER BL 032 - 20			
	Annual Cost	Annual Benefit	Nilai Awal Tahun ke - n	Nilai Sisa Akhir Tahun ke - n
2019	Rp 45.436.500	Rp 70.000.000	Rp 1.979.898.987	Rp 1.399.986.574
2020	Rp 44.219.083	Rp 123.200.000	Rp 1.399.986.574	Rp 989.930.506
2021	Rp 103.021.065	Rp 507.150.000	Rp 989.930.506	Rp 699.979.861
2022	Rp 223.099.914	Rp 916.500.000	Rp 699.979.861	Rp 494.955.760
Tahun	CASHFLOW EXCAVATOR CE 130 - 20			
	Annual Cost	Annual Benefit	Nilai Awal Tahun ke - n	Nilai Sisa Akhir Tahun ke - n
2019	Rp 65.678.252	Rp 295.610.000	Rp 993.485.028	Rp 702.493.263
2020	Rp 30.946.506	Rp 154.500.000	Rp 702.493.263	Rp 496.732.986
2021	Rp 95.228.720	Rp 411.500.000	Rp 496.732.986	Rp 351.239.895
2022	Rp 189.877.848	Rp 858.550.000	Rp 351.239.895	Rp 248.361.729
2023	Rp 228.689.904	Rp 485.450.000	Rp 248.361.729	Rp 175.616.579
2024	Rp 152.960.096	Rp 359.860.000	Rp 175.616.579	Rp 124.178.483
2025	Rp 200.092.650	Rp 351.212.041	Rp 124.178.483	Rp 87.806.605
2026	Rp 213.134.141	Rp 298.458.030	Rp 87.806.605	Rp 62.088.051
2027	Rp 226.175.632	Rp 245.704.018	Rp 62.088.051	Rp 43.902.461
2028	Rp 239.217.123	Rp 192.950.007	Rp 43.902.461	Rp 31.043.430
2029	Rp 252.258.614	Rp 140.195.996	Rp 31.043.430	Rp 21.950.809

Sumber : Data Penulis, 2025

Tabel 4. 6 Rekapitulasi Cost dan Benefit Alat Berat Challenger

Periode	CASHFLOW BULLDOZER KOMATSU D85ESS-2A
---------	--------------------------------------

	Annual Cost	Annual Benefit	Nilai Awal Tahun ke - n	Nilai Sisa Akhir Tahun ke - n
1	Rp 153.750.000	Rp 868.125.000	Rp 4.000.000.000	Rp 2.828.427.125
2	Rp 160.920.000	Rp 859.500.000	Rp 2.828.427.125	Rp 1.999.980.820
3	Rp 172.920.000	Rp 856.125.000	Rp 1.999.980.820	Rp 1.414.186.438
4	Rp 165.320.000	Rp 853.500.000	Rp 1.414.186.438	Rp 999.971.230

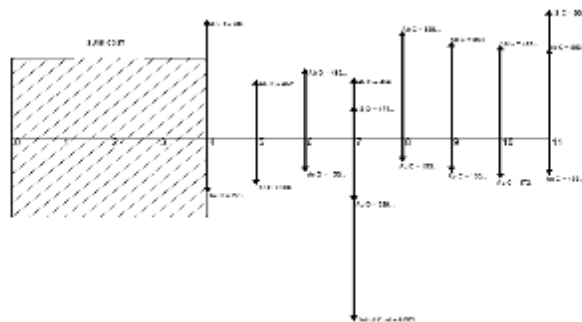
Periode	CASHFLOW EXCAVATOR CE PC 200-10 MO			
	Annual Cost	Annual Benefit	Nilai Awal Tahun ke - n	Nilai Sisa Akhir Tahun ke - n
1	Rp 126.825.000	Rp 439.850.000	Rp 1.550.000.000	Rp 1.096.015.511
2	Rp 143.655.000	Rp 431.300.000	Rp 1.096.015.511	Rp 774.992.568
3	Rp 155.655.000	Rp 429.590.000	Rp 774.992.568	Rp 547.997.245
4	Rp 148.055.000	Rp 428.260.000	Rp 547.997.245	Rp 387.488.852

Sumber : Data Penulis, 2025

4.7. Penyusunan Skenario

Skenario penggantian alat berat dilakukan sebanyak 7 skenario dengan kondisi penggantian pada skenario 1 dilakukan disaat umur ekonomis pada alat berat habis yakni pada 4 tahun ($t = 4$). Kemudian dilanjutkan skenario 1 hingga 7 dengan menambahkan usia pakai alat berat lama 1 tahun untuk setiap skenarionya sebagai contoh skenario 2 dilakukan saat usia 5 tahun ($t = 1$) berturut – turut hingga skenario 7.

Sebagai contoh perhitungan adalah skenario 4 dari alat bulldozer BL 032-20. Dari nilai *cost* dan *benefit* yang ada, disusun sebuah *cashflow* untuk skenario 4 sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Diagram cashflow skenario 4 Bulldozer

Sumber : Data Penulis, 2025

4.8. Perhitungan Ekuivalensi dan Annual Ekuivalen

Berdasarkan diagram *cashflow* skenario 4, kemudian dilakukan perhitungan ekuivalensi dan *annual ekuivalen* dengan nilai konversi dari tabel bunga dengan suku bunga 12%. Berikut hasil perhitungan ekuivalensi dan *annual ekuivalen* untuk skenario 4 :

12%		Compound Interest Factors								12%
Single Payment		Uniform Payment Series				Arithmetic Gradient				
Compound Amount Factor Find F Given P i/P	Present Worth Factor Find P Given F P/F	Sinking Fund Factor Find A Given F A/F	Capital Recovery Factor Find A Given P A/P	Compound Amount Factor Find F Given A F/A	Present Worth Factor Find P Given A P/A	Gradient Uniform Series Find A Given G A/G	Gradient Present Worth Find P Given G P/G			n
1	1.130	0.8929	1.0000	1.1200	0.893	0	0	1		1
2	1.254	0.7972	0.7118	1.254	0.797	0.472	0.797	2		2
3	1.405	0.7118	0.5968	1.405	0.712	0.925	1.412	3		3
4	1.574	0.6355	0.5002	1.574	0.636	1.359	2.127	4		4
5	1.762	0.5674	0.4174	1.762	0.567	1.775	2.897	5		5
6	1.974	0.5066	0.3432	1.974	0.507	2.172	3.730	6		6
7	2.211	0.4523	0.2891	2.211	0.452	2.551	4.634	7		7
8	2.476	0.4039	0.2437	2.476	0.404	2.913	5.608	8		8
9	2.773	0.3606	0.2057	2.773	0.361	3.259	6.661	9		9
10	3.106	0.3230	0.1730	3.106	0.323	3.585	7.794	10		10

Gambar 4. 2 Tabel Suku Bunga 12%

Sumber : Tabel Suku Bunga, Ekonomi Teknik

EUAB = Ab D1 (A/P. i. n=7) + Ab D2 (P/F. i. n=1) x (A/P. i. n=7) + Ab D3 (P/F. i. n=2) x (A/P. i. n=7) + Ab D4 (P/F. i. n=3) x (A/P. i. n=7) + Sisa D2025 (P/F. i. n=3) x (A/P. i. n=7) + Ab C1 (P/F. i. n=4) x (A/P. i. n=7) + Ab C2 (P/F. i. n=5) x (A/P. i. n=7) + Ab C3 (P/F. i. n=6) x (A/P. i. n=7) + Ab C4 (A/F. i. n=7) + Sisa C (A/F. i. n=7)

EUAB = Rp. 916.500.000 x (0,2191) + Rp. 462.000.000 x (0,8929) x (0,2191) + Rp. 482.625.000 x (0,7972) x (0,2191) + Rp. 464.155.632 x (0,7118) x (0,2191) + Rp. 174.988.253 x (0,7118) x (0,2191) + Rp. 868.125.000 x (0,6355) x (0,2191) + Rp. 859.500.000 x (0,5674) x (0,2191) + Rp. 856.125.000 x (0,5066) x (0,2191) + Rp. 853.500.000 x (0,0991) + Rp. 999.971.230 x (0,0991)

EUAB = Rp. 981.596.882

EUAC = Ac D1 (A/P. i. n=7) + Ac D2 (P/F. i. n=1) x (A/P. i. n=7) + Ac D3 (P/F. i. n=2) x (A/P. i. n=7) + Ac D4 (P/F. i. n=3) x (A/P. i. n=7) + Initial Cost (P/F. i. n=3) x (A/P. i. n=7) + Ac C1 (P/F. i. n=4) x (A/P. i. n=7) + Ac C2 (P/F. i. n=5) x (A/P. i. n=7) + Ac C3 (P/F. i. n=6) x (A/P. i. n=7) + Ac C4 (A/F. i. n=7)

EUAC = Rp. 223.099.914 x (0,2191) + Rp. 206.310.080 x (0,8929) x (0,2191) + Rp. 156.720.327 x (0,7972) x (0,2191) + Rp. 239.777.537 x (0,7118) x (0,2191) + Rp. 4.000.000.000 x (0,7118) x (0,2191) + Rp. 153.750.000 x (0,6355) x (0,2191) + Rp. 160.920.000 x (0,5674) x (0,2191) + Rp. 172.920.000 x (0,5066) x (0,2191) + Rp. 165.320.000 x (0,0991)

EUAC = Rp. 854.822.096

Maka, untuk nilai *annual ekuivalennya* adalah

AE = EUAB – EUAC
 = Rp. 981.596.882 – Rp. 854.822.096
 = Rp. 126. 774. 785

Perhitungan dilakukan untuk 7 skenario penggantian dengan suku bunga 12% sehingga diperoleh untuk nilainya sebagai berikut :

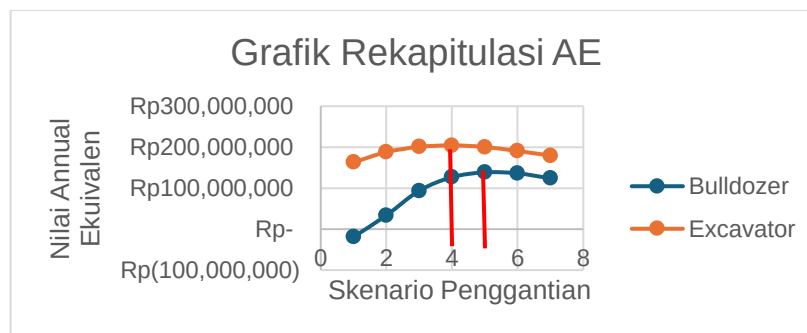
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Nilai Annual Ekuivalen Alat Berat

Skenario Penggantian	BULLDOZER			EXCAVATOR		
	EUAB	EUAC	AE	EUAB	EUAC	AE

Skenario 1	Rp 1.533.753.188	Rp 1.552.774.087	-Rp 19.020.899	Rp 878.193.790	Rp 715.194.529	Rp 162.999.261
Skenario 2	Rp 1.259.709.414	Rp 1.226.030.799	Rp 33.678.615	Rp 788.463.446	Rp 600.392.208	Rp 188.071.238
Skenario 3	Rp 1.094.373.853	Rp 1.000.675.092	Rp 93.698.760	Rp 710.642.736	Rp 509.883.838	Rp 200.758.898
Skenario 4	Rp 981.596.882	Rp 854.822.096	Rp 126.774.785	Rp 657.787.267	Rp 453.462.234	Rp 204.325.033
Skenario 5	Rp 888.117.212	Rp 749.534.455	Rp 138.582.757	Rp 613.932.773	Rp 413.439.425	Rp 200.493.348
Skenario 6	Rp 807.293.156	Rp 671.161.122	Rp 136.132.035	Rp 575.960.547	Rp 385.425.300	Rp 190.535.247
Skenario 7	Rp 735.226.702	Rp 611.302.314	Rp 123.924.388	Rp 542.008.374	Rp 362.465.931	Rp 179.542.443

Sumber : Data Penulis, 2025

Dari hasil perhitungan tersebut, dapat dibentuk suatu grafik yang menunjukkan nilai keuntungan maksimal penggantian alat berat dari ketujuh skenario. Grafik tersebut sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Rekapitulasi Annual Ekuivalen

Sumber : Data Penulis, 2025

4.9. Pengambilan Keputusan Penggantian

Dari hasil tersebut diperoleh nilai AE maksimal dari setiap alat berat yang dihasilkan dari skenario penggantian. Nilai AE terbesar tersebut merupakan keuntungan paling tinggi dari ketujuh skenario, sehingga pengambilan keputusan penggantian dilakukan dengan cara melakukan penggantian pada skenario yang memiliki tingkat keuntungan terbesar atau maksimal. Sehingga untuk alat berat bulldozer BL 032 – 20 digantikan pada skenario 5 atau 4 tahun setelah umur ekonomis alat tersebut habis. Sedangkan untuk excavator CE 130 – 20 digantikan pada skenario 4 atau 3 tahun setelah umur ekonomis habis.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap analisis pengambilan keputusan penggantian alat berat bulldozer dan excavator dengan metode *defender challenger*, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Hasil peramalan terhadap biaya operasional dan *maintenance* terhadap alat berat akan mengalami peningkatan pada periode berikutnya, sehingga dengan hal tersebut perlu dijadikan pertimbangan dalam pengelolaan alat berat. Selain itu *benefit* yang diperoleh setiap alat berat akan cenderung menurun pada periode berikutnya.
2. Dari hasil analisis penggantian alat berat yang dilakukan, dapat diketahui untuk alat berat bulldozer dan excavator yang dilakukan analisis penggantian mampu melebihi umur ekonomisnya yakni 4 tahun. Hal ini ditunjukkan dari hasil penggantian dari beberapa skenario memperoleh nilai maksimum keuntungan pada beberapa tahun kemudian setelah umur ekonomis habis.
3. Dari hasil analisis penggantian alat berat yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa penggantian terbaik untuk alat berat bulldozer BL 032-20 adalah pada skenario penggantian ke 5 atau 4 tahun setelah umur ekonomi alat berat habis yakni pada tahun 2026 (terhitung sejak umur investasi alat berat = 2018) atau ketika umur alat berat 8 tahun, dengan nilai AE maksimal sebesar Rp. 138.582.757. Sedangkan untuk alat berat excavator CE 130 – 20 diperoleh hasil penggantian terbaik terjadi pada skenario 4 atau 3 tahun setelah umur ekonomis alat berat habis yakni pada tahun 2026 (terhitung sejak umur investasi alat berat = 2019) atau ketika umur alat berat adalah 7 tahun dengan nilai AE maksimal sebesar Rp. 204.325.033.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis penggantian alat berat, maka dapat disarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Hasil analisis yang dilakukan dapat dijadikan pertimbangan oleh PT. X dalam pengelolaan terhadap alat berat BL 032 – 20 dan CE 130 – 20 dengan mempertimbangkan secara nilai ekonomis alat berat tersebut.
2. Hasil analisis penggantian dengan metode *defender challenger* dapat digunakan sebagai tolok ukur dalam pengelolaan berkelanjutan bagi pihak PT. X, sehingga penggantian alat berat yang dilakukan tidak lagi didasarkan atas klasifikasi usia alat berat ataupun dari segi fisik saja.
3. Hasil analisis yang telah dilakukan dapat digunakan oleh peneliti selanjutnya sebagai tolok ukur cara analisis yang kemudian bisa dirancang sebuah sistem program yang tentunya mempermudah perhitungan pada analisis penggantian.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, D. P. (2014). Replacement Analysis Ekonomi Teknik.
Hadi, P. (n.d.). Ekonomi Teknik (Investasi) (Issue 1).
Hadi, S. (2015). Buku Alat Berat dan PTM.
Higgins, L. R., & Mobley, R. K. (2002). Maintenance Engineering Handbook by Lindley Higgins, Keith Mobley (z-lib.org).
Joyowiyono, M. (1992). Ekonomi Teknik Economic) JILID 2 (Engineering. 2, 230.

- Kementerian PUPR. (2013). Katalog Alat Berat. *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local.*, 1(69), 5–24.
- Kusrin, S.T, M. . (2008). Pemindahan Tanah Mekanis dan Alat Berat.
- M. Giatman. (2006). *Ekonomi Teknik*.
- Mobley, R. K., & Wikoff, D. J. (n.d.). *Maintenance Engineering Handbook*.
- Mohamed Ben-Daya, Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic, D. A.-K. (2019). *Handbook of Maintenance Management and Engineering Haroun*. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1).
- Newman, D. G., Eschenbach, T. G., & Lavella, J. P. (2004). *Ninth Edition* . (N. Y. Oxford (ed.); Ninth). Oxford University Press.
- Nursubiyantoro, E. (n.d.). *Ekonomi Teknik Analisis Penggantian*.
- PT. United Tractor Tbk. (2020). *Manajemen Alat - Alat Berat*. Teknik Mesin ITN Malang, 189, 1–189.
- Pujawan, I. N. (n.d.). *Beberapa Konsep Dasar Tentang Ekonomi Teknik Edisi 2*.
- Pujawan, I. N. (2015). *Ekonomi Teknik Edisi 1*.
- Rostiyanti, S. F. (2019). *Alat Berat untuk Proyek Konstruksi Edisi 2*. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1)
- Siswanto, B. T. (2013). *Teknik Alat Berat*. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Sofwanhadi. (2015). *Buku Alat Berat dan PTM*.
- Waluyo. (2011). *Perpajakan Indonesia Edisi 10 Buku 2*. Salemba Empat.
- William G. Sullivan, Elin M. Wicks, C. P. K. (2015). *Sixteenth Edition Abbreviations and Notation Summary CHAPTER 4*.
- Yudaruddin, R. (2019). *Forecasting: Untuk Kegiatan Ekonomi Dan Bisnis*. In *Pustaka Horizon*.
- Yonas, P. (2023). *Kajian Peralatan Berat Pada Proyek Konstruksi*. In *Repository.Unkris.Ac.Id*.
- Zainuri. (2015). *Buku Ekonomi Teknik*.