

**ANALISA EKONOMIS PERALATAN PULVERIZER UNTUK  
OPTIMALISASI KEANDALAN PLTU DENGAN SIMULASI MONTE CARLO  
DAN PENDEKATAN ANALISA BIAYA SIKLUS HIDUP  
(Studi Kasus: PLTU X)**

**Reza Firdian Mardiansyah<sup>1)</sup>, Elisa Kusri<sup>2)</sup>, Faisal RM<sup>3)</sup>**

*Magister Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia<sup>1,2,3)</sup>  
Jl. Kaliurang Km 14,5 Sleman Yogyakarta, 55584  
Email : ferdian.85211@gmail.com<sup>1)</sup>, elisakusri@uii.ac.id<sup>2)</sup>, faisal.rm@uii.ac.id<sup>3)</sup>*

**ABSTRACT**

*To improve and maintain the reliability of PLTU X (FTP-1) power supply using coal fuel it is necessary to improve the reliability of the equipment especially on the crucial equipment which one of the pulverizer equipment for it is necessary to process the procurement of equipment components (stock warehouse) to maintain if possible a malfunction or malfunction occurs. The author intends to make three alternative procurement process that is through OEM procurement process, Non OEM / reverse engineering and recondition.*

*This journal will analyze a financial feasibility study to ascertain whether the procurement has economic value and the asset will be used effectively and efficiently over the life of the benefit using the LCCA cost analysis approach. In this paper, historical data on pulverizer damage is obtained from the HDKP Rapsodi Settlement application to be verified and processed using minitab 17 applications to obtain the weibull shape factor ( $\beta$ ) and scale factor / characteristic life ( $\eta$ ) and the data as monte carlo simulation input. So we get mean time to failure (MTTF) / age of pulverizer component. To analyze the three alternatives and determine which alternatives are most profitable for 10 years with a life cycle cost analysis approach.*

*Based on the analysis of quantitative calculation data, the life of pulverizer mills (MTTF) procurement process OEM for 10,108 hours / 1.2 years, non-OEM / reverse engineering for 16,899 hours / 2 years and recondition for 5,323 hours / 0.7 years and the results of approach life cycle cost analysis was obtained cost savings of 35.22 billion per unit pulverizer mills for 10 years with reverse engineering procurement process compared to OEM.*

*Keywords : Pulverizer, Mean Time To Failure, Cost Life Cycle Analysis.*

**1 PENDAHULUAN**

PLTU X merupakan pembangkit listrik dengan menggunakan bahan bakar batubara yang digunakan untuk memanaskan boiler untuk megubah air menjadi uap bertekanan. Pada boiler sendiri terdapat empat *pulverizer* yang berfungsi / beroperasi untuk menghaluskan batubara sebelum masuk boiler. Untuk menjamin sistem pembangkit dapat beroperasi secara kontinyu, biasanya dipasang satu *standby pulverizer* untuk menggantikan fungsi *pulverizer* yang mengalami kerusakan sedangkan pendapat (Ratna Bhakti dan Sudiyono K, 2015) beberapa sub-sistem *pulverizer* sering mengalami kerusakan yang dapat

menimbulkan kegagalan pada sistem tersebut maka membuat perencanaan pemeliharaan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada *pulverizer* untuk menurunkan tingkat *breakdown* mesin dan *downtime* produksi dengan identifikasi FMEA terdapat 12 *failure mode* yang terjadi dipulverizer termasuk penelitian (Rio Prasetyo Lukodono et al, 2013) menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Maintenance Value Stream Mapping* (MVSM) untuk meningkatkan keandalan pada sistem *maintenance* dan penelitian (Umi Fitriyani, 2011) menentukan waktu perawatan *pulverizer* menggunakan metode RCM II

dengan pendekatan *Benefit - Cost Analysis* untuk menilai risiko kegagalan fungsi yang timbul oleh mesin *pulverizer mill* terdapat 15 kegagalan. Menurut penelitian (Herry Nugraha et al, 2016) menerapkan *Reliability, Availability, Maintainability and Security (RAMS)* dengan menggunakan simulasi *Monte Carlo* dan mengukur efektifitas biaya dengan menggunakan *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)* untuk pemilihan alternatif pemeliharaan pada kabel laut transmisi jawa-bali 150 kV dan juga penelitian (Ngapuli I. Sinisuka et al, 2013) menerapkan *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)* pada operasi pembangkit listrik dengan menghitung seluruh biaya deterministik dan biaya probabilistik dengan studi kasus PLTU 330 MW untuk mendapatkan menilai program manajemen yang efektif dengan biaya risiko rendah sedangkan penelitian (Weta Hary W et al, 2013) menganalisa keandalan dengan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* sedangkan artikel dari (Winda Nur Cahyo, 2008) pendekatan simulasi *monte carlo* untuk memilih alternatif dengan *decision tree* pada nilai *outcome* yang probabilistik.

Data gangguan pembangkit PLTU X (FTP-1) didapatkan dari aplikasi *rapsodi HDKP setelmen*, pembangkit ini aset *owner*-nya PT PLN (Persero) Regional Jawa Bagian Tengah yang dikendalikan sebagai aset manajer dan aset operasi oleh anak perusahaan PT Pembangkitan Jawa Bali masih di dapat temuan masalah antaranya :

1. Sering mengalami kerusakan yang tidak terencana.
2. Umur pengoperasian lebih pendek dari desain.
3. Tidak dapat operasi secara maksimal.
4. Batubara tidak hancur secara sempurna.
5. Proses pengadaan lama dalam mendapatkan material tersebut.
6. Kualitas yang didapatkan tidak sesuai dengan yang diharapkan.

Pada kondisi sekarang ini bila terjadi kerusakan pada komponen *pulverizer* baru mengusulkan dengan dilakukan eksekusi dengan berbagai cara perbaikan dan juga pembelian sehingga perencanaan dan kajian kurang efisien waktu, biaya dan kesiapan operasi. Untuk itu belum ada metode optimum untuk pemilihan alternatif.

Oleh karena itu, peneliti mencoba membuat dan mengimplementasi suatu metode penelitian ini dengan pendekatan simulasi *Monte Carlo* dan pendekatan analisa biaya siklus hidup (LCCA) untuk mengoptimalkan resiko, biaya dan kinerja pembangkit terhadap komponen peralatan *pulverizer*. Hasil akhir dari analisis ini adalah memberikan masukan kepada manajemen dari beberapa alternatif diantaranya pengadaan OEM, pengadaan non OEM dan rekondisi yang mana perhitungan tersebut memberikan masukan untuk dalam memberikan keputusan yang tepat sesuai dengan prediksi sehingga mendapatkan pilihan optimal.

Dengan melihat kompleksnya permasalahan yang ada, maka pembatasan masalah dilakukan sebagai berikut :

1. Pengambil data sekunder dari aplikasi *rapsodi HDKP Setelment PLTU X* kemudian dimasukkan kedalam aplikasi *minitab 17*.
2. Salah satu komponen vital *mill pulverizer* adalah *mill* termasuk *table*.
3. Perhitungan dengan menggunakan *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)*. Dengan LCCA pada komponen *pulverizer level 2* terdiri dari *feeder, motors and drives, mills, mill coal level controls, coal leak, control system, other pulverizer problems* dan *inspection*.
4. Keputusan optimal dapat diambil berdasarkan analisis ekonomi yang memperhitungkan total biaya *coal mill pulverizer* tersebut.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

Manajemen Aset memiliki pengertian sebagai kegiatan dan praktik yang sistematis dan terkoodinir dari organisasi dalam mengelola aset dan sistem asetnya secara berkesinambungan dengan mengoptimalkan kinerja, risiko dan biaya pada siklus hidup asetnya yang bertujuan untuk mencapai rencana strategis perusahaan (Iwan Agung Firstantara, 2014).

Simulasi adalah sebuah metode analitik yang bertujuan untuk membuat “imitasi” dari sebuah sistem yang mempunyai sifat acak, dimana jika digunakan model lain menjadi sangat *mathematically complex* atau terlalu sulit untuk dikembangkan. Simulasi *Monte Carlo* adalah salah satu metode simulasi sederhana yang dapat dibangun secara cepat dengan hanya menggunakan *spreadsheet MS Excell* (Winda Nur Cahyo, 2008).

*Mean Time To Failure* (MTTF) dihitung dengan menggunakan simulasi *Monte Carlo* berdasarkan nilai *Weibull Shape Factor* ( $\beta$ ) dan *Weibull Characteristic Life* ( $\eta$ ) untuk setiap sub-sistem. Waktu kegagalan  $T_F$  adalah fungsi dari kriteria nilai kegagalan  $F(t)$ . Persamaan untuk menghitung  $T_F$  dan MTTF adalah :

$$T_F = \eta \left[ -\ln(1 - F(t)) \right]^{\frac{1}{\beta}} \dots\dots\dots(1)$$

$$MTTF_{sub-sistem} = \frac{\sum T_{ATTF}}{\sum T_F} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana  $T_{ATTF}$  (*Total Accumulation of Time To Failure*).

Penjelasan keputusan nilai yang didapatkan 1 jika  $RAND () > T_F$  nilai kegagalan adalah 0 atau akan memberikan nilai acak distribusi normal tingkat kegagalan bervariasi antara 0 dan 1. Selama perhitungan simulasi *Monte Carlo*, nilai  $T_F$  dan MTTF selalu berubah sesuai dengan angka acak  $F(t) = RAND()$  yang dihasilkan oleh komputer (Ngapuli I. Sinisuka et al, 2013).

Rumusan umum perhitungan LCC atas suatu sistem / sub-sistem adalah sebagaimana persamaan (Jianpeng Bian et al, 2014),

$$LCC = CI + CO + CM + CF + CD \dots\dots\dots(4)$$

LCC dimana masing - masing komponennya adalah sebagai berikut:

- CI : Biaya Investasi.
- CO : Biaya Operasi.
- CM : Biaya Pemeliharaan.
- CF : Biaya Atas Kerusakan.
- CD : Biaya Atas Tahap Disposasi.

## 3 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dari studi literatur dan studi lapangan untuk mengetahui kondisi peralatan *pulverizer* sehingga didapatkan data pendukung penelitian dari tahun *Comercial Of Date* (COD) / mulai operasi komersial tahun 2011 sampai tahun 2017, selanjutnya dilakukan verifikasi perkomponen *pulverizer* dan diolah dengan menggunakan aplikasi *minitab 17* untuk mendapatkan *weibull shape factor* ( $\beta$ ) dan *weibull scale factor / characteristic life* ( $\eta$ ).

Kemudian dimasukkan kedalam simulasi *monte carlo* untuk mendapatkan *Mean Time To Failure* (MTTF) perkomponen *pulverizer*, khusus *pulverizer mills di-breakdown* berdasarkan kondisi OEM, RE dan Rekondisi. Selanjutnya pengolahan data tahap dua menghitung seluruh biaya berdasarkan alternatif sesuai pendekatan analisa biaya siklus hidup (LCCA). Didapatkan hasil analisa titik impas, analisa sensitivitas, total biaya dan keuntungan akibat *avoide cost*.

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Deskripsi Komponen Pulverizer

Setelah dilakukan verifikasi data gangguan komponen *pulverizer* sesuai kode gangguan di-level 2 mengacuh pedoman (PT PLN (Persero), 2017) didapatkan dari aplikasi rapsodi HDKP. Kemudian di hitung gangguan satu dengan gangguan kedua dengan lokasi sama pada komponen *pulverizer* / mencari *time between failure* (TBF). Kemudian dikompakan berdasarkan berdasarkan tiga alternatif dimana info dari aset operator di lapangan bahwa *reverse engineering* umur aset lebih lama dibandingkan *pulverizer original* (OEM) dan rekondisi, sehingga di ambil data berdasarkan tingkat tertinggi

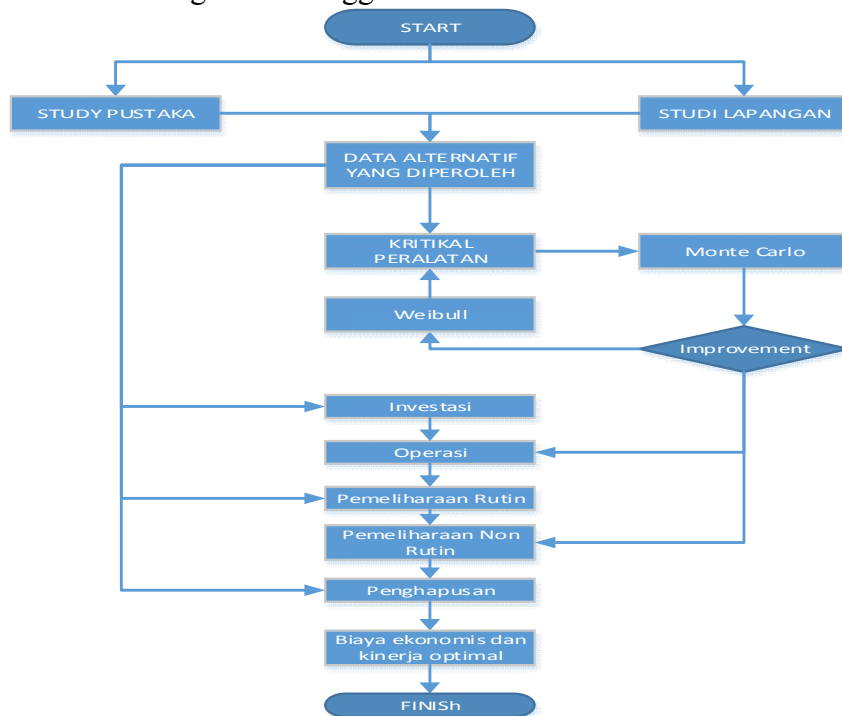
*reverse engineering*, kedua OEM dan ketiga rekondisi didapatkan hasil sesuai tabel 1.

Setelah didapatkan data *time between failure* dari OEM, RE dan rekondisi kemudian di input kedalam aplikasi minitab 17 untuk mendapatkan *weibull shape factor* ( $\beta$ ) dan *scale factor/ characteristic life* ( $\eta$ ) dapat di lihat sesuai gambar 2.

Dan dilakukan lagi satu persatu langkanya dari awal laporan gangguan perkomponen sampai didapatkan makan didapatkan *shape factor* ( $\beta$ ) dan *scale factor/ characteristic life* ( $\eta$ ) sesuai data tabel 2.

##### 4.2 Hasil Simulasi Monte Carlo

Dari tabel 2 atas didapatkan *weibull shape factor* ( $\beta$ ) dan *scale factor/ characteristic life* ( $\eta$ ) masing - masing komponen kemudian dimasukkan kedalam simulasi *monte carlo* dengan dilakukan 5.000 kali percobaan untuk mendapatkan *mean time between failure* (MTTF) per komponen, khusus *pulverizer mills di-breakdown* berdasarkan kondisi OEM, RE dan Rekondisi.



Gambar 1. Diagram Alur Metode Penelitian.

Tabel 1. Data Rekap *Time Between Failure (TBF) Pulverizer Mills*

No.	Unit 1					Unit 2					Hasil Verifikasi Data TBF		
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	OEM	RE	Rekon disisi
1	3.298	1.906	13.584	3.897	3.897	4.650	2.240	4.856	2.240	5.833	14.089	33.952	3.298
2	14.089	3.492	14.405	461	575	8.655	4.107	7.273	2.210	8.680	11.759	34.669	3.492
3	717	405	156	114	224	18.090	7.028	4.561	200	4	14.405	23.911	13.584
4	33.952	576	23.911	8.399	8.175	5.161	173	16.884	206	144	8.399	38.472	3.897
5		414		576	39.185	1.917	29.512	18.482	1.491	26.009	8.175	39.185	3.897
6		742		138		20.661	8.996		5.782	1.719	18.090	20.661	8.655
7		11.759		38.472					1.176	1.917	8.996	29.512	7.028
8		34.669							3.385	4.785	16.884	18.482	7.273
9									14.704	8.798	14.704	20.661	5.782
10									20.661		8.798	26.009	8.680

Tabel 2. Data Hasil Aplikasi *Minitab 17*

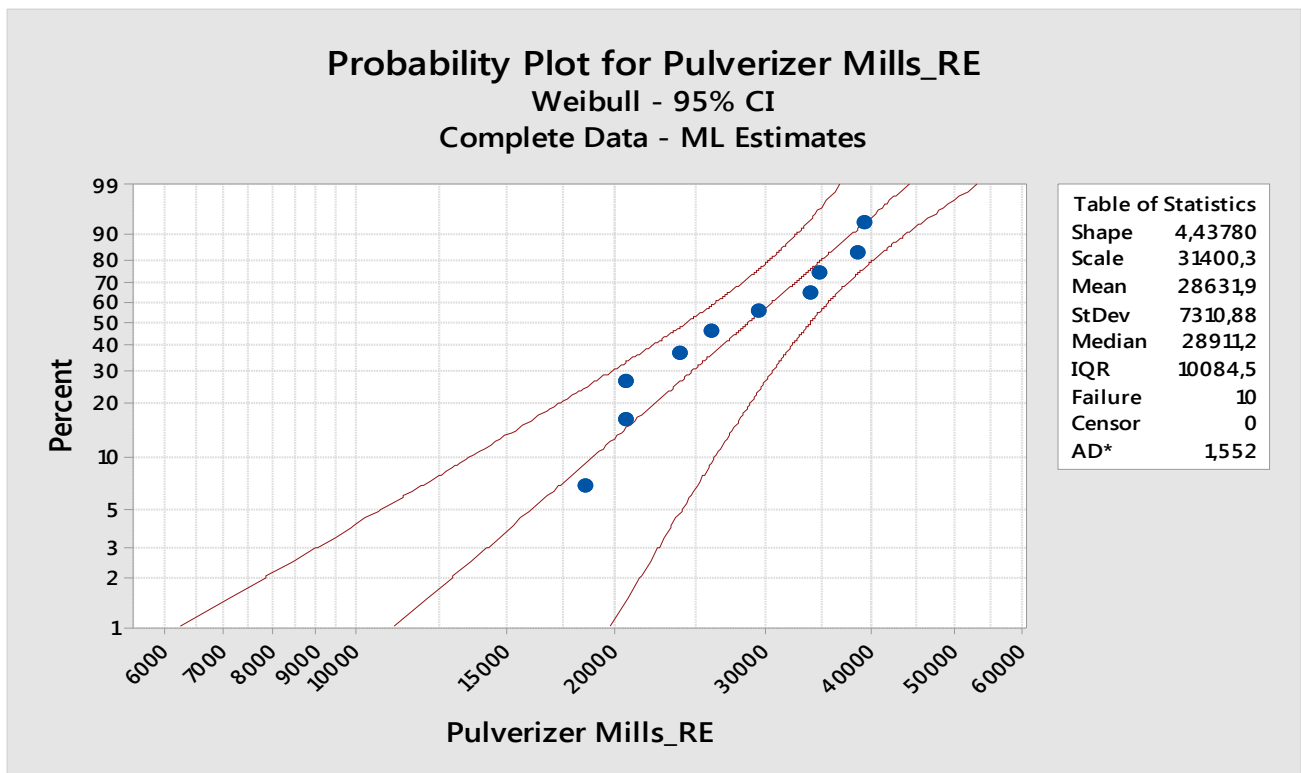
No.	Komponen	Alternatif OEM		Alternatif RE		Alternatif Rekon disisi	
		$\beta$	$\eta$	$\beta$	$\eta$	$\beta$	$\eta$
1	<i>Pulverizer Feeder</i>	0,7	9,962	0,7	9,962	0,7	9,962
2	<i>Pulverizer Motors and Drives</i>	4,5	47,883	4,5	47,883	4,5	47,883
3	<i>Pulverizer Mills</i>	4,0	13,759	4,4	31,400	2,3	7,438
4	<i>Pulverizer Mills Coal Level Controls</i>	4,5	47,880	4,5	47,880	4,5	47,880
5	<i>Pulverizer Coal Leak</i>	1,3	39,201	1,3	39,201	1,3	39,201
6	<i>Pulverizer Control System</i>	2,5	29,522	2,5	29,522	2,5	29,522
7	<i>Other Pulverizer Problems</i>	0,9	16,580	0,9	16,580	0,9	16,580
8	<i>Pulverizer Inspection</i>	2,1	47,226	2,1	47,226	2,1	47,226

Tabel 3. Data *Mean Time To Failure (MTTF) OEM, Reverse Engineering, Rekon disisi*

Sub System	Simulation Data Random			Simulation Result			
	$\beta$	$\eta$	$F(t) = RAND ()$	$T_y = \eta [-\ln(1 - F(t))]^{\frac{1}{\beta}}$	Total # Failures Simulated	Total Accumulated Time For Failures	Mean time to failure
<i>Pulverizer Feeder</i>	0,7	9,962	0,350	3,087	2,528	7,510,131	2,971
<i>Pulverizer Motors and Drives</i>	4,4	47,883	0,462	43,081	2	12,265	6,132
<i>Pulverizer Mills</i>	2,3	13,759	0,548	12,986	562	5,680,532	10,108
<i>Pulverizer Mills Coal Level Controls</i>	4,6	47,880	0,634	47,947	1	4,725	4,725
<i>Pulverizer Coal Leak</i>	1,3	39,201	0,081	5,909	362	1,883,716	5,204
<i>Pulverizer Control System</i>	2,5	29,522	0,753	33,693	118	946,816	8,024
<i>Other Pulverizer Problems</i>	0,9	16,580	0,189	2,964	1,378	5,197,434	3,772
<i>Pulverizer Inspection</i>	2,1	47,226	0,862	65,287	53	364,254	6,873
				2,694	5,004	21,599,873	

Simulation Data Random				Simulation Result			
Sub System	$\beta$	$\eta$	$F(t) = RAND ()$	$T_g = \eta [-\ln(1 - F(t))]^{\frac{1}{\beta}}$	Total # Failures Simulated	Total Accumulated Time For Failures	Mean time to failure
Pulverizer Feeder	0,7	9,962	0,685	12,194	2,700	10,176,247	3,769
Pulverizer Motors and Drives	4,4	47,883	0,992	67,684	10	156,057	15,606
Pulverizer Mills	2,3	31,400	0,566	30,154	53	895,624	16,899
Pulverizer Mills Coal Level Controls	4,6	47,880	0,540	45,312	8	120,125	15,016
Pulverizer Coal Leak	1,3	39,201	0,830	60,772	365	2,573,785	7,051
Pulverizer Control System	2,5	29,522	0,277	18,946	204	2,311,954	11,333
Other Pulverizer Problems	0,9	16,580	0,213	3,442	1,586	7,538,261	4,753
Pulverizer Inspection	2,1	47,226	0,948	78,881	76	756,640	9,956
				2,442	5,002	24,528,695	

Simulation Data Random				Simulation Result			
Sub System	$\beta$	$\eta$	$F(t) = RAND ()$	$T_g = \eta [-\ln(1 - F(t))]^{\frac{1}{\beta}}$	Total # Failures Simulated	Total Accumulated Time For Failures	Mean time to failure
Pulverizer Feeder	0,7	9,962	0,136	692	2,087	4,424,882	2,120
Pulverizer Motors and Drives	4,4	47,883	0,763	51,904	0	0	#DIV/0!
Pulverizer Mills	2,3	7,348	0,091	2,667	1,541	8,061,865	5,232
Pulverizer Mills Coal Level Controls	4,6	47,880	0,611	47,279	0	0	#DIV/0!
Pulverizer Coal Leak	1,3	39,201	0,658	41,387	231	771,027	3,338
Pulverizer Control System	2,5	29,522	0,078	10,975	63	379,460	6,023
Other Pulverizer Problems	0,9	16,580	0,766	24,999	1,051	2,731,842	2,599
Pulverizer Inspection	2,1	47,226	0,276	27,639	31	136,738	4,411
				692	5,004	16,505,814	



Gambar 2. Grafik  $\beta$  dan  $\eta$  Pulverizer Mills RE.

Dari tabel 3 diatas didapatkan MTTF proses pengadaan OEM sebesar 10.108 jam, proses pengadaan *reverse engineering* sebesar 16.899 jam dan proses pengadaan rekondisi sebesar 5.232 jam.

#### 4.3 Cost Benefit Analyst Menghindari Avoide Cost

Asumsi :

Batubara satu jam = 30.000 kg.

Gross Plant Heat Rate = 2.751 kCal/ kWh.

Nilai Kalori Batubara = 4.200 kCal/kg.

Harga komponen C = Rp 321 / kWh.  
(PLTU Rembang November 2017).

Harga komponen C = Rp 356 /kWh.  
(PLTU TJB November 2017).

Efisiensi *pulverizer* = 90%.

Didapatkan :

BPP pengganti = 356 – 321.  
= Rp.35 / kWh.

Produksi per jam =  $(4.200 \times 30.000 \times 90\%) / 2.75 = 41.221, -$  kWh.

Harga per bulan = harga jual x produksi x bulan  
=  $35 \times 41.221 \times 24 \times 30$ .  
= Rp 1.038.778.626.

#### 4.4 Proses Pengadaan OEM

Asumsi :

1 Mill ada 3 *grinding roll* = Rp. 594.248.070.

1 Set *grinding table* = Rp. 145.774.812.  
(PT PJB STOCKIST)

Biaya bongkar pasang = Rp. 38.500.000.  
(data maximo)

Biaya sewa alat = Rp. 2.200.000.  
(data maximo)

Biaya *consumable* = Rp. 950.000.  
(data maximo)

Waktu pemesanan = 8 bulan.

Waktu pemasangan CM = 63 hari.  
(sama dengan *Serious Inspection* awal)

Umur *Grinding roll* = 10.108 jam.

Pinjaman Bank Setahun = 90 %.

Proporsi pendanaan dari Bank

Bunga Bank se tahun = 18,75 % dan

Deposito = 5%.

WACC didapat = 17,38 %.

PPN = 10 %.

PPH Badan = 25 %.

Perhitungan disamakan dalam penyebutan KPK dari 3 alternatif berdasarkan umur aset untuk OEM didapatkan 1,18 dibuatkan perhitungan ke profil analisa biaya siklus hidup (LCCA) untuk proses pengadaan OEM didapatkan sesuai tabel 4.

#### 4.5 Proses Pengadaan Reverse Engineering

Asumsi :

1 Mill ada 3 *grinding roll* = Rp. 324.510.000.

1 Set *grinding table* = Rp. 85.000.000.  
(PT HANSA)

Waktu pemesanan = 6 bulan.

Umur *Grinding roll* = 16.899 jam = 2 tahun.

Perhitungan disamakan dari 3 alternatif dalam penyebutan KPK berdasarkan umur aset untuk RE didapatkan 0,71 dibuatkan perhitungan ke profil analisa biaya siklus hidup (LCCA) untuk proses pengadaan *reverse engineering* didapatkan sesuai tabel 5.

#### 4.6 Proses Pengadaan Rekondisi

Asumsi :

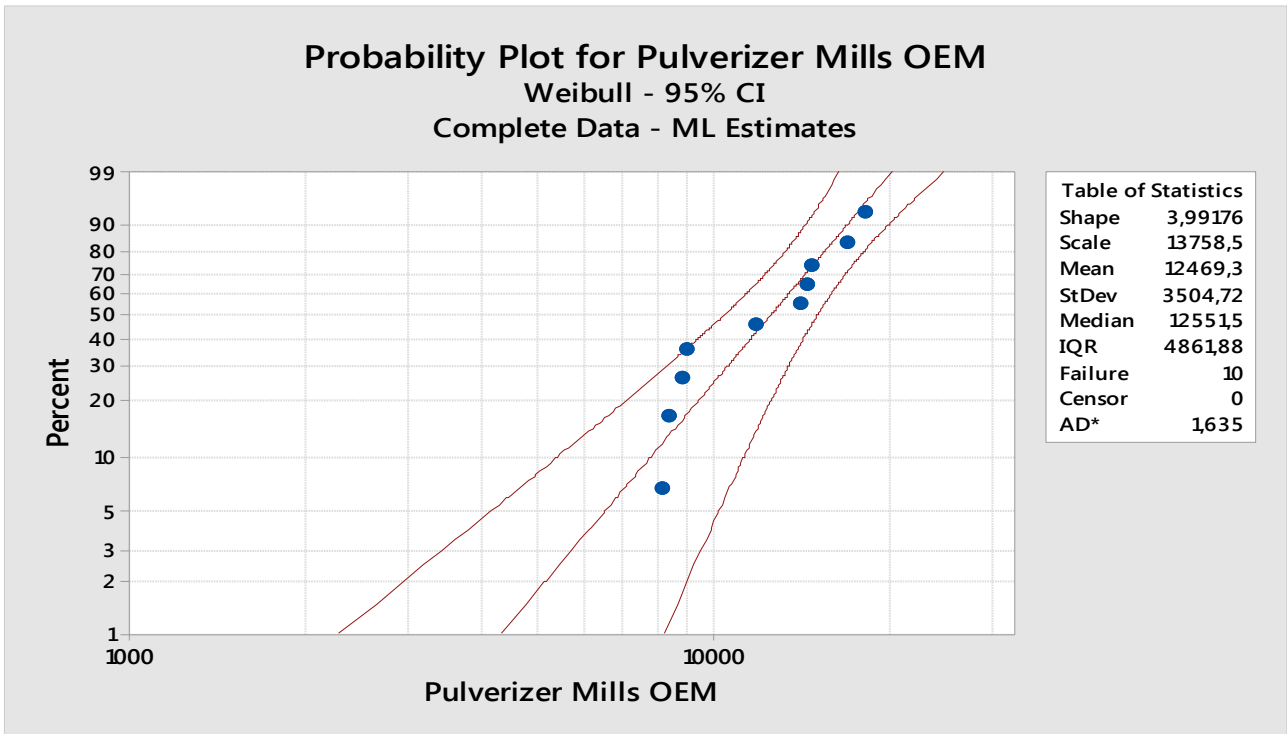
1 Mill ada 3 *grinding roll* = Rp. 135.201.666.  
(PUSHARLIS)

1 Set *grinding table* = Rp. 115.000.000.  
(PUSHARLIS)

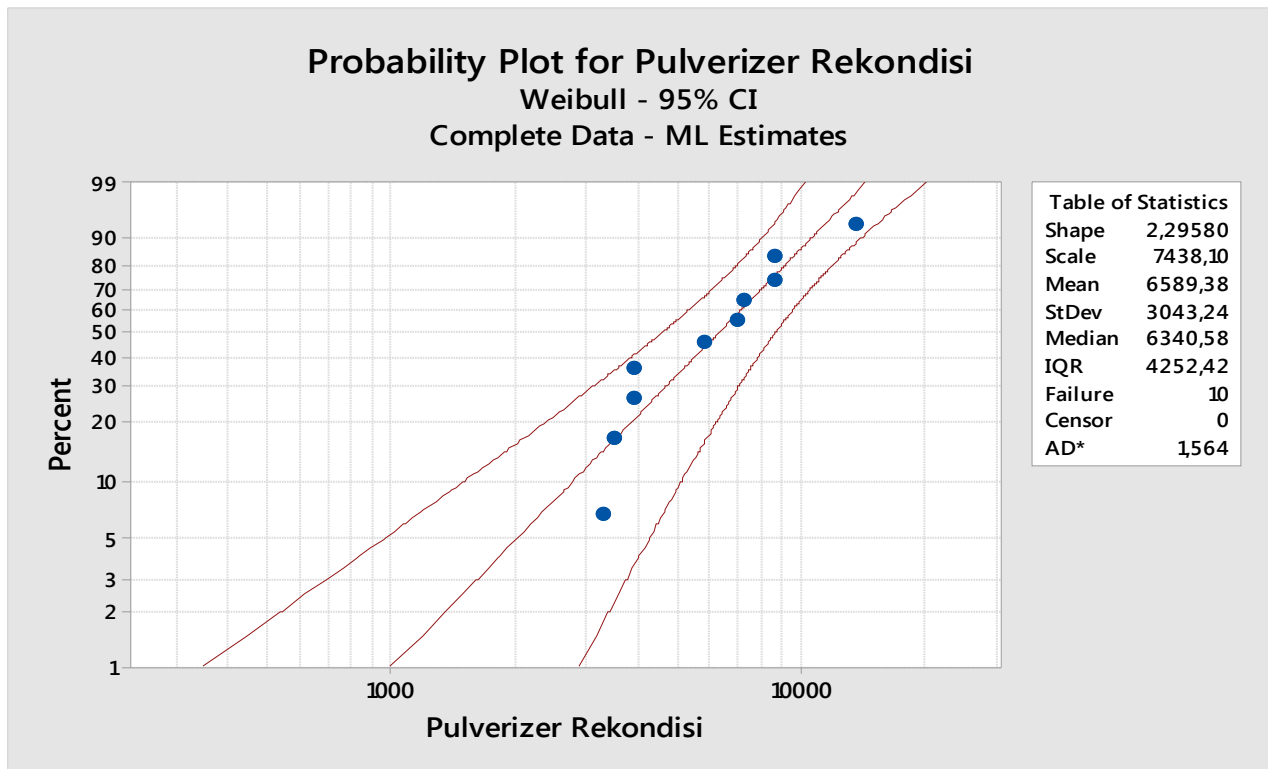
Waktu pemesanan = 3 bulan.

Umur = 5.232 jam = 0,6 tahun.

Perhitungan disamakan dari 3 alternatif dalam penyebutan KPK berdasarkan umur aset untuk rekondisi didapatkan 2,29 dibuatkan perhitungan ke profil *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) untuk proses pengadaan rekondisi didapatkan sesuai tabel 6.



Gambar 3. Grafik  $\beta$  dan  $\eta$  Pulverizer Mills OEM.



Gambar 4. Grafik  $\beta$  dan  $\eta$  Rekondisi.



Tabel 4. NPV Proses Pengadaan Asli Pabrikan (OEM)

TAHUN												WACC	17,38%	IRR	165,36%	
												BCR	1,28	NPV	6.069.967.878	
	POKOK PINJAMAN	PEMBAYARAN POKOK	BUNGA	KEUNTUNGAN	BIAYA								EBT	PPH BADAN	ARUS KAS	
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15							
0																(876.489.008)
1	7.888.401.075	788.840.108	1.479.075.202	8.230.931.949	876.489.008	1.722.327.998	30.869.763	103.594.228	8.290.855	823.093.195	3.564.665.046	5.542.755.912	1.015.920.178	1.382.431.417		
2	7.099.560.968	788.840.108	1.331.167.681	8.230.931.949	876.489.008	1.722.327.998	30.869.763	103.594.228	8.290.855	823.093.195	3.564.665.046	5.542.755.912	1.052.897.058	1.493.362.057		
3	6.310.720.860	788.840.108	1.183.260.161	8.230.931.949	876.489.008	1.722.327.998	30.869.763	103.594.228	8.290.855	823.093.195	3.564.665.046	5.542.755.912	1.089.873.938	1.604.292.697		
4	5.521.880.753	788.840.108	1.035.352.641	8.230.931.949	876.489.008	1.722.327.998	30.869.763	103.594.228	8.290.855	823.093.195	3.564.665.046	5.542.755.912	1.126.850.818	1.715.223.337		
5	4.733.040.645	788.840.108	887.445.121	8.230.931.949	876.489.008	1.722.327.998	30.869.763	103.594.228	8.290.855	823.093.195	3.564.665.046	5.542.755.912	1.163.827.698	1.826.153.977		
6	3.944.200.538	788.840.108	739.537.601	8.230.931.949	876.489.008	1.722.327.998	30.869.763	103.594.228	8.290.855	823.093.195	3.564.665.046	5.542.755.912	1.200.804.578	1.937.084.617		
7	3.155.360.430	788.840.108	591.630.081	8.230.931.949	876.489.008	1.722.327.998	30.869.763	103.594.228	8.290.855	823.093.195	3.564.665.046	5.542.755.912	1.237.781.458	2.048.015.257		
8	2.366.520.323	788.840.108	443.722.560	8.230.931.949	876.489.008	1.722.327.998	30.869.763	103.594.228	8.290.855	823.093.195	3.564.665.046	5.542.755.912	1.274.758.338	2.158.945.897		
9	1.577.680.215	788.840.108	295.815.040	8.230.931.949	876.489.008	1.722.327.998	30.869.763	103.594.228	8.290.855	823.093.195	3.564.665.046	5.542.755.912	1.311.735.218	2.269.876.538		
10	788.840.108	788.840.108	147.907.520	8.230.931.949	876.489.008	1.722.327.998	30.869.763	103.594.228	8.290.855	823.093.195	3.564.665.046	5.542.755.912	1.348.712.098	2.380.807.178		

Tabel 5. NPV Proses Pengadaan Non OEM / Reverse Engineering

TAHUN												WACC	17,38%	IRR	1435,92%	
												BCR	1,76	NPV	13.803.746.679	
	POKOK PINJAMAN	PEMBAYARAN POKOK	BUNGA	KEUNTUNGAN	BIAYA								EBT	PPH BADAN	ARUS KAS	
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15							
0																(290.114.874)
1	2.611.033.864	261.103.386	489.568.850	9.932.564.527	290.114.874	2.078.395.749	18.464.499	61.964.048	4.959.108	993.256.453	3.447.154.730	6.775.524.670	1.571.488.955	4.163.248.606		
2	2.349.930.478	261.103.386	440.611.965	9.932.564.527	290.114.874	2.078.395.749	18.464.499	61.964.048	4.959.108	993.256.453	3.447.154.730	6.775.524.670	1.583.728.176	4.199.966.269		
3	2.088.827.091	261.103.386	391.655.080	9.932.564.527	290.114.874	2.078.395.749	18.464.499	61.964.048	4.959.108	993.256.453	3.447.154.730	6.775.524.670	1.595.967.398	4.236.683.933		
4	1.827.723.705	261.103.386	342.698.195	9.932.564.527	290.114.874	2.078.395.749	18.464.499	61.964.048	4.959.108	993.256.453	3.447.154.730	6.775.524.670	1.608.206.619	4.273.401.597		
5	1.566.620.318	261.103.386	293.741.310	9.932.564.527	290.114.874	2.078.395.749	18.464.499	61.964.048	4.959.108	993.256.453	3.447.154.730	6.775.524.670	1.620.445.840	4.310.119.260		
6	1.305.516.932	261.103.386	244.784.425	9.932.564.527	290.114.874	2.078.395.749	18.464.499	61.964.048	4.959.108	993.256.453	3.447.154.730	6.775.524.670	1.632.685.061	4.346.836.924		
7	1.044.413.546	261.103.386	195.827.540	9.932.564.527	290.114.874	2.078.395.749	18.464.499	61.964.048	4.959.108	993.256.453	3.447.154.730	6.775.524.670	1.644.924.283	4.383.554.588		
8	783.310.159	261.103.386	146.870.655	9.932.564.527	290.114.874	2.078.395.749	18.464.499	61.964.048	4.959.108	993.256.453	3.447.154.730	6.775.524.670	1.657.163.504	4.420.272.252		
9	522.206.773	261.103.386	97.913.770	9.932.564.527	290.114.874	2.078.395.749	18.464.499	61.964.048	4.959.108	993.256.453	3.447.154.730	6.775.524.670	1.669.402.725	4.456.989.915		
10	261.103.386	261.103.386	48.956.885	9.932.564.527	290.114.874	2.078.395.749	18.464.499	61.964.048	4.959.108	993.256.453	3.447.154.730	6.775.524.670	1.681.641.946	4.493.707.579		

Tabel 6. NPV Proses Pengadaan Rekondisi

											WACC	17,38%	IRR	55,57%
											BCR	1,12	NPV	1.214.212.743
TAHUN					BIAYA							EBT	PPH B A D A N	A R U S K A S
	P I N G A M P A N	P E M P B A Y A R A N	B U N G A	K E U N T U N G A N	P E N Y U S U T A N	K O B I L A Y A T A N	B I A Y A P M	B I A Y A C M	P E N G B A Y A N P U S A	P P N	J U M L A H			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0														(572.518.508)
1	5.152.666.576	515.266.658	966.124.983	4.284.641.663	572.518.508	896.564.124	59.639.060	200.139.613	16.017.576	428.464.166	2.173.343.048	2.683.817.123	429.423.035	200.483.939
2	4.637.399.918	515.266.658	869.512.485	4.284.641.663	572.518.508	896.564.124	59.639.060	200.139.613	16.017.576	428.464.166	2.173.343.048	2.683.817.123	453.576.160	272.943.313
3	4.122.133.261	515.266.658	772.899.986	4.284.641.663	572.518.508	896.564.124	59.639.060	200.139.613	16.017.576	428.464.166	2.173.343.048	2.683.817.123	477.729.284	345.402.686
4	3.606.866.603	515.266.658	676.287.488	4.284.641.663	572.518.508	896.564.124	59.639.060	200.139.613	16.017.576	428.464.166	2.173.343.048	2.683.817.123	501.882.409	417.862.060
5	3.091.599.946	515.266.658	579.674.990	4.284.641.663	572.518.508	896.564.124	59.639.060	200.139.613	16.017.576	428.464.166	2.173.343.048	2.683.817.123	526.035.533	490.321.434
6	2.576.333.288	515.266.658	483.062.492	4.284.641.663	572.518.508	896.564.124	59.639.060	200.139.613	16.017.576	428.464.166	2.173.343.048	2.683.817.123	550.188.658	562.780.808
7	2.061.066.630	515.266.658	386.449.993	4.284.641.663	572.518.508	896.564.124	59.639.060	200.139.613	16.017.576	428.464.166	2.173.343.048	2.683.817.123	574.341.782	635.240.181
8	1.545.799.973	515.266.658	289.837.495	4.284.641.663	572.518.508	896.564.124	59.639.060	200.139.613	16.017.576	428.464.166	2.173.343.048	2.683.817.123	598.494.907	707.699.555
9	1.030.533.315	515.266.658	193.224.997	4.284.641.663	572.518.508	896.564.124	59.639.060	200.139.613	16.017.576	428.464.166	2.173.343.048	2.683.817.123	622.648.032	780.158.929
10	515.266.658	515.266.658	96.612.498	4.284.641.663	572.518.508	896.564.124	59.639.060	200.139.613	16.017.576	428.464.166	2.173.343.048	2.683.817.123	646.801.156	852.618.303

4.7 Analisa Perhitungan

Dari data diatas dapat digambar 3.profil analisa biaya siklus hidup dari 3 alternatif OEM, RE dan rekondisi sesuai grafik 5.11 dimana biaya investasi paling tinggi pada alternatif OEM sedangkan paling kecil biaya investasi rekondisi namun umur aset paling lama proses *reverse engineering* dapat mampu beroperasi selama 23,5 bulan/ 2 tahun.

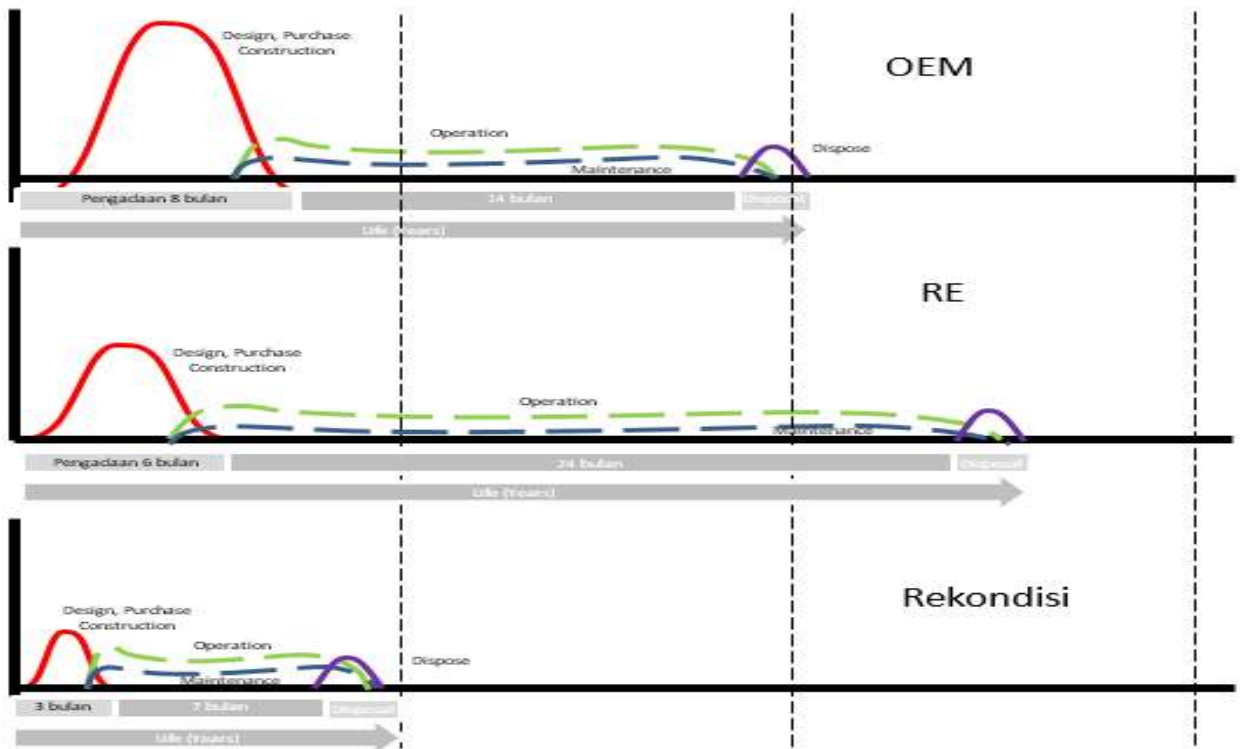
Untuk dapat diperbandingkan dari alternatif diatas maka dibuatkan persamaan Kelipatan Persekutuan terkecil (KPK) dengan disamakan umur aset sampai rusak / *failure*. Setelah disamakan dan dikalikan hasilnya ke komponen CI, CO, CM, CF dan CD setiap alternatif maka hasilnya di total biaya pengeluaran dan pendapatan/keuntungan *avoide cost* sehingga didapatkan pilihan yang optimal dari alternatif tersebut didapatkan sesuai gambar 6.

Dari gambar 6 diatas didapatkan hasil penghematan biaya mencapai 38 Milyar per *pulverizer mills* selama 10 tahun dengan perbandingan alternatif 2 (proses *reverse engineering*) dengan alternatif 3 (proses rekondisi). Total biaya - biaya yang tertinggi ada dialternatif 1 (proses OEM) sebesar 64 Milyar dan biaya terkecil alternatif 3 (proses rekondisi) sebesar 38 Milyar namun kehilangan produksi akibat gangguan dan sering pemeliharaan sangat berdampak besar terhadap keuntungan bersih menjadi kecil sehingga pendapatan bersi paling kecil diantara alternatif 3 sebesar 4,6 Milyar.

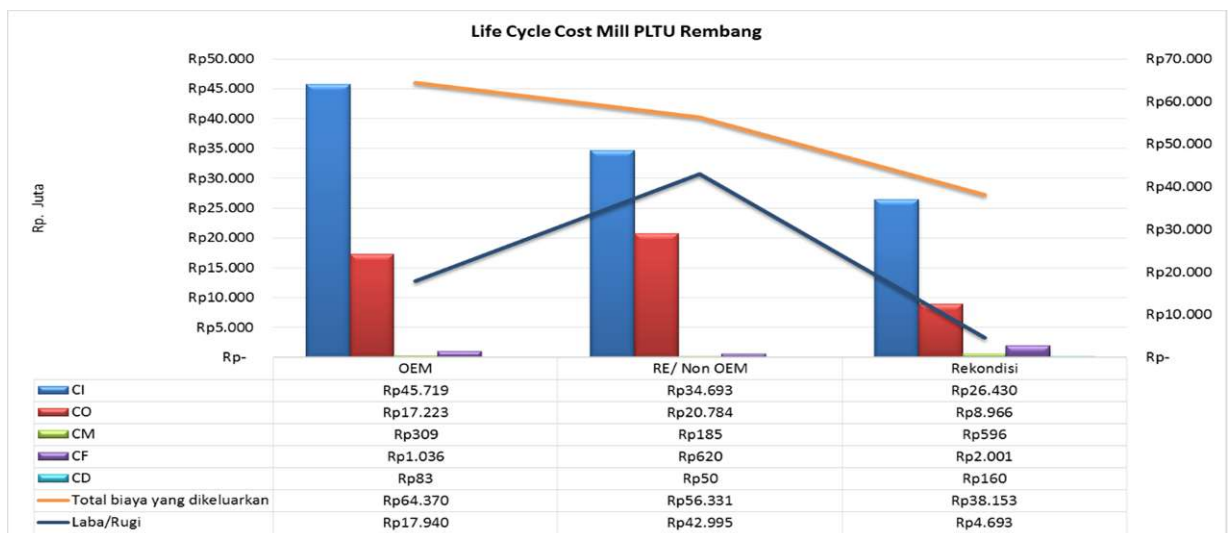
Untuk menganalisa lebih lanjut perlu dibuatkan analisa titik impas (*break even analysis*) gabungan 3 alternatif terhadap *cost benefit* menghindari *avoide cost* dengan total item biaya sesuai gambar 8. Dimana NPV mulai positif dilakukan dengan cara interpolasi sehigga didapatkan keuntungan

dengan *avoid cost* alternatif rekondisi baru minimal diatas  $X3 > 29$  Rp/kWh sedangkan alternatif *reverse engineering* dengan *avoid cost*  $X2 > 13$  Rp/kWh sudah mendapatkan keuntungan namun setelah dilakukan penggabungan 3 alternatif didapatkan *avoid cost* harus  $X1 > 24$  Rp/kWh baru mendapatkan keuntungan dari 3 pilihan tersebut.

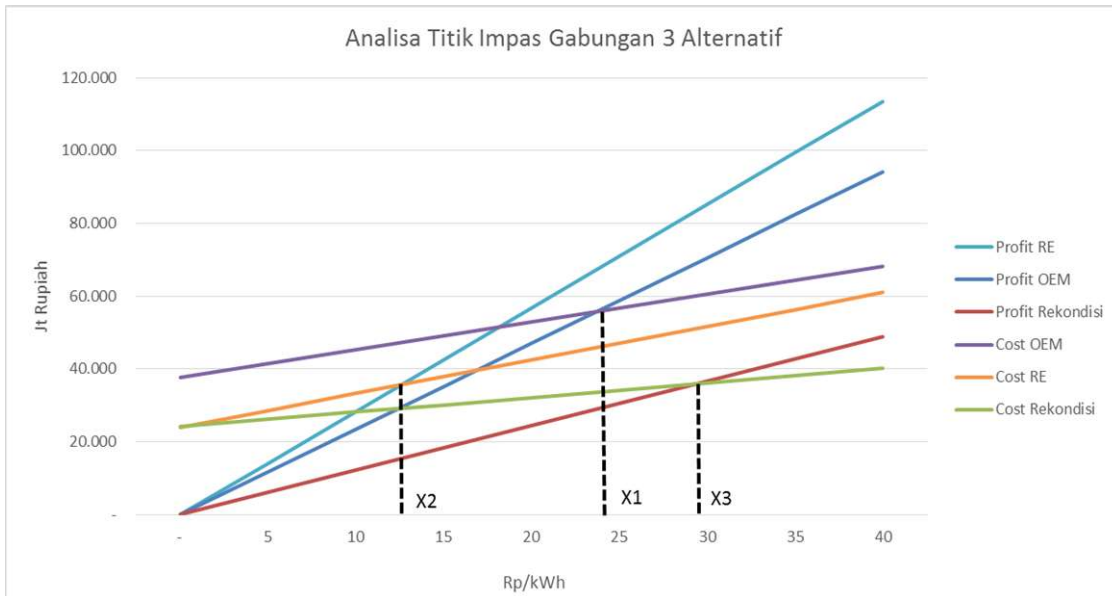
Untuk lebih jelas lagi dibuatkan analisis sensitivitas tingkat suku bunga terhadap NPV dimana dapat dilihat gambar 8. Dimana NPV mulai positif dilakukan dengan cara interpolasi sehingga tingkat bunga bank maksimal dibawah  $X3 < 41$  % sedangkan alternatif *reverse engineering* tingkat bunga bank maksimal dibawah  $X2 < 418$  % dan alternatif OEM tingkat bunga bank maksimal dibawah  $X1 < 74$  %.



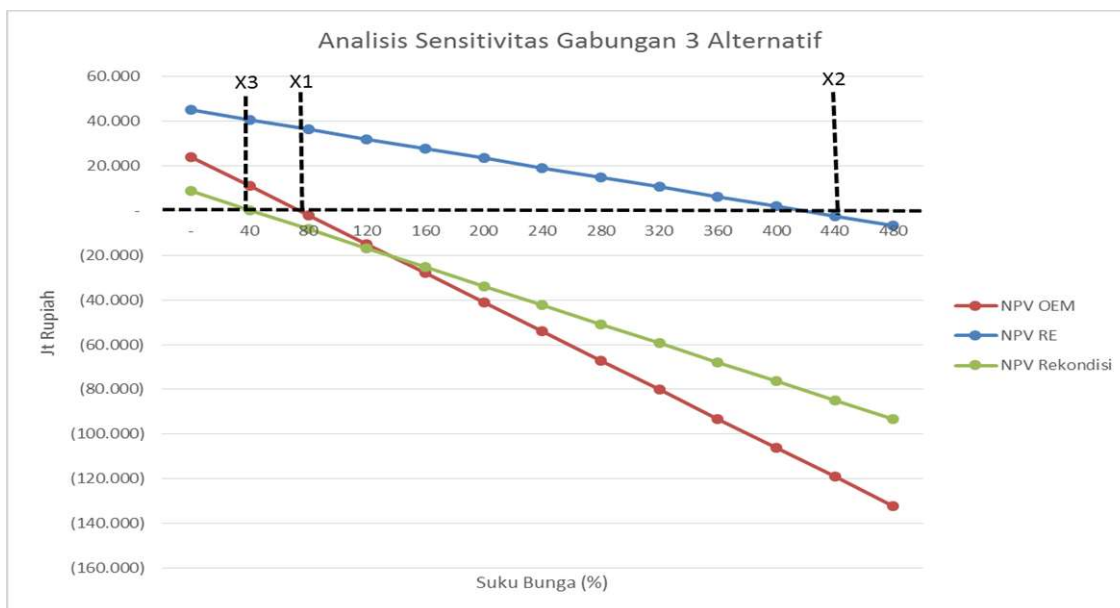
Gambar 5. Grafik Profil Analisa Biaya Siklus Hidup Mills.



Gambar 6. Grafik Perhitungan Analisa Biaya Siklus Hidup Pulverizer Mills.



Gambar 7. Grafik Analisa Titik Impas BEP & Harga Listrik.



Gambar 8. Grafik Analisis Sensitivitas Gabungan.

## 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan, pengolahan data dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari analisa data secara kualitatif dengan menggunakan simulasi *monte carlo* umur aset *pulverizer mills / mean time to failure* (MTTF) proses pengadaan OEM didapatkan selama 10.108 jam/ 1,2 tahun, proses pengadaan *reverse engineering* didapatkan selama 16.899 jam/ 2 tahun

sedangkann proses pengadaan rekondisi didapatkan selama 5.232 jam/ 7 bulan.

2. Dari analisa data secara kualitatif dengan perhitungan pendekatan analisa biaya siklus hidup (LCCA) selama 10 tahun biaya total pengeluaran terkecil didapatkan perhitungan alternatif proses pengadaan rekondisi sebesar 38 Milyar kemudian alternatif proses pengadaan *reverse engineering* sebesar 56 Milyar dan alternatif proses pengadaan OEM sebesar 64 Milyar. Keuntungan *avoide cost* tertinggi adalah alternatif proses pengadaan *reverse engineering* sebesar 99

Milyar, OEM sebesar 82 Milyar dan Rekondisi sebesar 43 Milyar sehingga laba tertinggi - terendah secara berurutan yaitu alternatif RE, OEM dan Rekonisi sebesar 43 Milyar, 17 Milyar dan 4,6 Milyar dengan perhitungan analisa finansial untuk :

- a. OEM NPV 6.069.967.878, IRR 165,3% dan BCR 1,28.
  - b. RE NPV 13.803.746.679, IRR 1.435,92% dan BCR 1,76.
  - c. Rekondisi NPV 1.214.212.743, IRR 55,57 % & BCR 1,12.
3. Dari grafik gabungan alternatif titik impas terhadap *avoid cost* dengan total biaya didapatkan titik impas minimum *benefit cost* menghindari *avoid cost* dari 3 alternatif adalah sebesar > 13 Rp/kWh (*Reverse Engineering*), >24 Rp/kWh (OEM), dan >29 Rp/kWh.
  4. Dari data perhitungan diatas alternatif proses pengadaan *reverse engineering* (Alternatif 2) adalah alternatif yang paling optimal dari pada dua alternatif yang ada, sebab dapat menghindari kegagalan, menghindari kehilangan kesempatan produksi dan mengurangi biaya pemeliharaan.

## 5.2 Saran

1. Berdasarkan dari hasil pengolahan data secara kualitatif, penulis menyarankan agar metode *life cycle cost* ini dapat digunakan untuk analisis komponen selain *Pulverizer mills* dengan teori *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)*.
2. Manajemen hendaknya mengupdate data-data pendukung yang aktual dalam aplikasi Rapsodi sampai level 3 sehingga didapatkan meprediksi secara mengoptimalkan terkait risiko, *cost* dan *performance*.
3. Metode ini masih perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barrett P J, 2001. *Life Cycle Costing*. Australia National Audit Office.
- Herry Nugraha, Zivion O. Silalahi and Ngapili I. Sinisuka, 2016. *Maintenance Decision Models for Java-Bali 150-kV Power Transmission Submarine Cable Using RAMS*. Power and Energy Technology Systems Journal 10.1109/JPETS.2016.2516944.
- I Nyoman Pujawan, 2009. *Ekonomi Teknik*. Edisi Kedua. Surabaya : Guna Wijaya.
- Iwan Agung Firstantara, 2014. *Manajemen Aset Fisik Strategis Refleksi Implementasi di PLN UPJB*. Edisi Pertama, Yogyakarta : Leutika Prio.
- Jianpeng Bian, Xiaoyun Sun, Mingming Wang, Haiqing Zheng, Hui Xing, 2014. *Probabilistic Analysis of Life Cycle Cost for Power Transformer*. Journal of Power and Energy Engineering, 2, 489-494.
- Ngapuli I. Sinisuka & Herry Nugraha, 2013. *Life Cycle Cost Analysis On The Operation Of Power Generation*. Journal of Quality in Maintenance engineering, Vol. 19 Iss 1 pp. 5-24
- PT PLN (Persero), 2017. *Protap Deklarasi Kondisi Pembangkit dan Indeks Kinerja Pembangkit*.
- Ratna Bhakti P S & Sudiyono K, 2015. *Perancangan Sistem Pemeliharaan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Pulverizer (Studi Kasus : PLTU Paiton Unit 3)*. Jurnal Teknik ITS Vol. 6, No. 1 ISSN:2337-3539
- Rio Prasetyo Lukodono, Pratika, Rudy Soenoko, 2013. *Analisis Penerapan Metode RCM dan MVSM Untuk Meningkatkan Keandalan Pada Sistem Maintenance (Studi Kasus PG.X)*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4, No.1 43-52.

- Umi Fitriyani, 2011. Penentuan Waktu Perawatan Pulverizer Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dengan Pendekatan Benefit-Cost Analysis (Study Kasus: PT PJB UP Paiton). Surabaya: Tugas Akhir Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November.
- Weta Hary W, Abdullah A dan Nurlita G, 2013. *Analisis Keandalan Pada Boiler PLTU dengan Menggunakan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA)*. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No.1, 1-6.
- Winda Nur Cahyo, 2008. *Pendekatan Simulasi Monte Carlo Untuk Pemeliharaan Alternatif Dengan Decision Tree Pada Nilai Outcome Yang Probabilistik*, Teknoin, Volume 13, Nomor 2, 11-17 ISSN:0853-8697.