

ANALISIS EXERGoeCONOMIC PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DUAL FUEL LINE 2 PT RIAU ANDALAN PULP AND PAPER (RAPP) 100 MW PANGKALAN KERINCI

Binsar Martua Parulian Manurung¹, Romy², Awaludin Martin²
Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin Universitas Riau
binsarmanurung63@gmail.com¹, romy_pku@yahoo.com², awaludinmartin01@gmail.com³

ABSTRACT

The dual fuel line 2 100MW steam power plant (PLTU) is one of the power plants owned by PT Riau Andalan Pulp and Paper. To produce steam PLTU line 2, PT RAPP used biomass as the main fuel and natural gas as an alternative fuel to achieve the required steam production target. The combination of exergy analysis (second law of thermodynamics) with economic analysis is exergoeconomic. With this exergoeconomic analysis the value of losses in each component of the steam power plant is more noticeable because it is already in the value of the currency. By carrying out this research the value of the cost of loss can be identified specifically, from the highest loss to the lowest loss. At the dual fuel line 2 PT RAPP 100MW steam power plant the biggest cost of the loss was at the boiler at US\$ 533.048,48/hour, followed by the HP pre-heater 2 for US\$ 262.869,97/hour, the HP pre-heater 1 for US\$ 83.153,52/hour, condenser US\$44.063,03/hour, pump 2 US\$42.846,85/hour, feedwater tank US\$34.849,08/hour, steam turbine US\$234.05/hour and the smallest was pump 1 US\$71,48/hour. With a total value of a loss of US\$ 1.011.509,52/hour. Through this research, it was expected that the value of the cost of losses due to exergy destruction can be reduced.

Keyword: Pembangkit Listrik Tenaga Uap, Exergy, Exergoeconomic

1. Pendahuluan

PT Riau Andalan Pulp and Paper adalah perusahaan swasta yang memproduksi pulp and paper yang berada di Pangkalan Kerinci. PT Riau Andalan Pulp and Paper berdiri di awal 1991. Pada tahun 1991 dilakukan survei lapangan dan pendirian pabrik dengan masa pengerjaan selama 2 tahun. Pada akhir tahun 1993 pabrik selesai dibangun dengan menempati areal 650 ha dari 1750 ha milik PT Riau Andalan Pulp and Paper. Pada awal Februari dan Maret 1994 dilakukan *running test* dan pada tahun 1995 dimulai produksi komersil pertama. Pertengahan tahun 1995 dilakukan *commissioning* produksi pertama selama 5 bulan dan kemudian mulai memproduksi dibulan berikutnya. Pada tahun 1996 dimulai survei untuk pabrik kertas dan pada tahun 1997 pabrik kertas sudah mulai beroperasi walaupun belum sepenuhnya. Dalam memproduksi *pulp and paper* PT RAPP menggunakan pembangkit listrik sendiri [1]. Energi listrik yang dihasilkan oleh PT RAPP tidak hanya disupli ke proses produksi *pulp and paper*, juga di transmisikan ke pemerintah daerah Kabupaten Pelalawan. Peran serta PT RAPP dalam mensupli energi listrik ke pemerintah kabupaten pelalawan bisa disebut dengan *independent power producer*.

Bahan bakar biomassa yang digunakan PT RAPP untuk produksi tenaga listrik $\approx 100\%$ berasal dari energi terbarukan yaitu *bark* (kulit

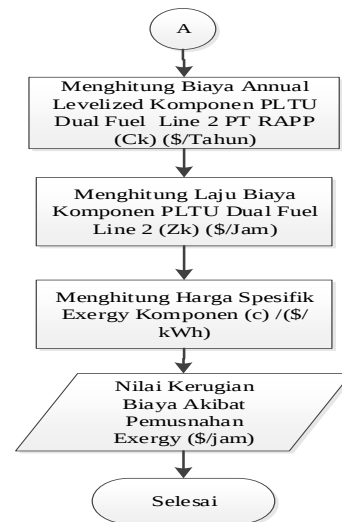
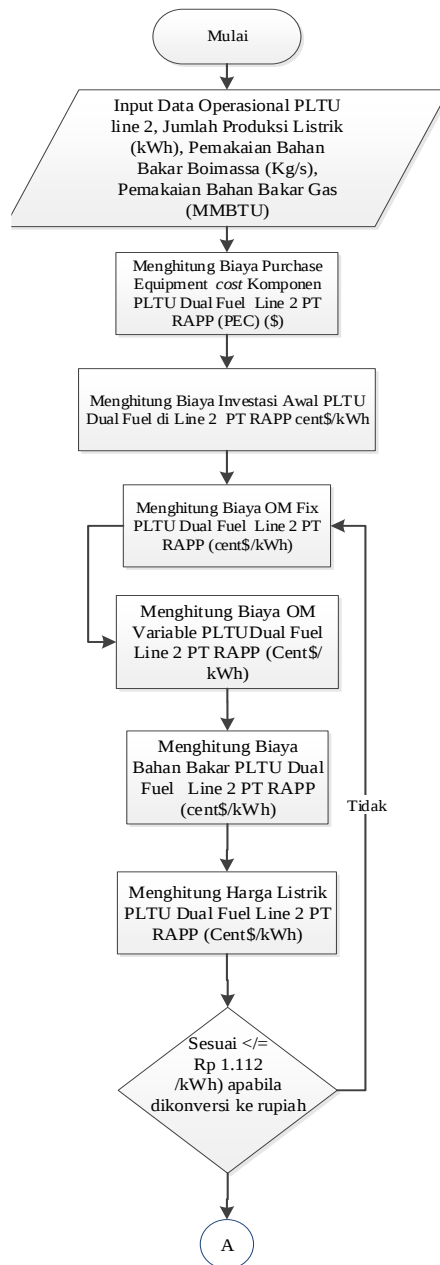
kayu), serat buah kelapa sawit, tandan kosong, dan cangkang. Tetapi PT RAPP masih juga menggunakan bahan bakar natural gas dalam jumlah yang sangat sedikit.

Dalam proses produksi pembangkit listrik tenaga uap *dual fuel line 2* di PT Riau Andalan Pulp and Paper sudah pasti mengalami banyak masalah yang menyebabkan kualitas dan kuantitas produksi yang menurun. Untuk mengatasi hal tersebut sudah banyak dilakukan usaha ataupun perbaikan. Salah satu usaha yang dilakukan adalah efisiensi energi. Salah satu konsep untuk meningkatkan efisiensi energi adalah dengan melakukan sebuah analisis [2]. Analisis yang dimaksud disini adalah analisis *exergi*. Analisis *exergi* adalah konsep efisiensi energi yang tidak hanya memperhitungkan kuantitas energi tetapi kualitas energi yang dihasilkan juga (hukum termodinamika kedua) [3].

Analisis *exergy* saja tidak cukup, dikarenakan *exergy* hanya mengidentifikasi nilai *exergy* yang terbuang percuma yang mengakibatkan kerugian. Sedangkan *real* kerugian mudah diamati jika telah dalam bentuk *cost*. Sehingga perlu dilakukan analisis lanjutan untuk mengetahui nilai kerugian ini dalam bentuk *cost*, yaitu analisis gabungan *exergy* dan *ekonomi teknik*. Analisis ini disebut dengan *exergoeconomic* [4].

2. Metode

Penelitian dilakukan dengan mengambil data operasional PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP 100MW pada tanggal 1/1/2019 selama 24 jam. Sebagai contoh perhitungan diambil sampel pada jam 00.00 A.M. Data keuangan diperoleh dengan mengestimasi biaya pembangunan PLTU *dual fuel line 2*, dan asumsi asumsi lainnya. Berikut *flow chart* perhitungan dalam analisis *exergoeconomic*. Diagram alir perhitungan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Flow Chart Perhitungan

3. Hasil

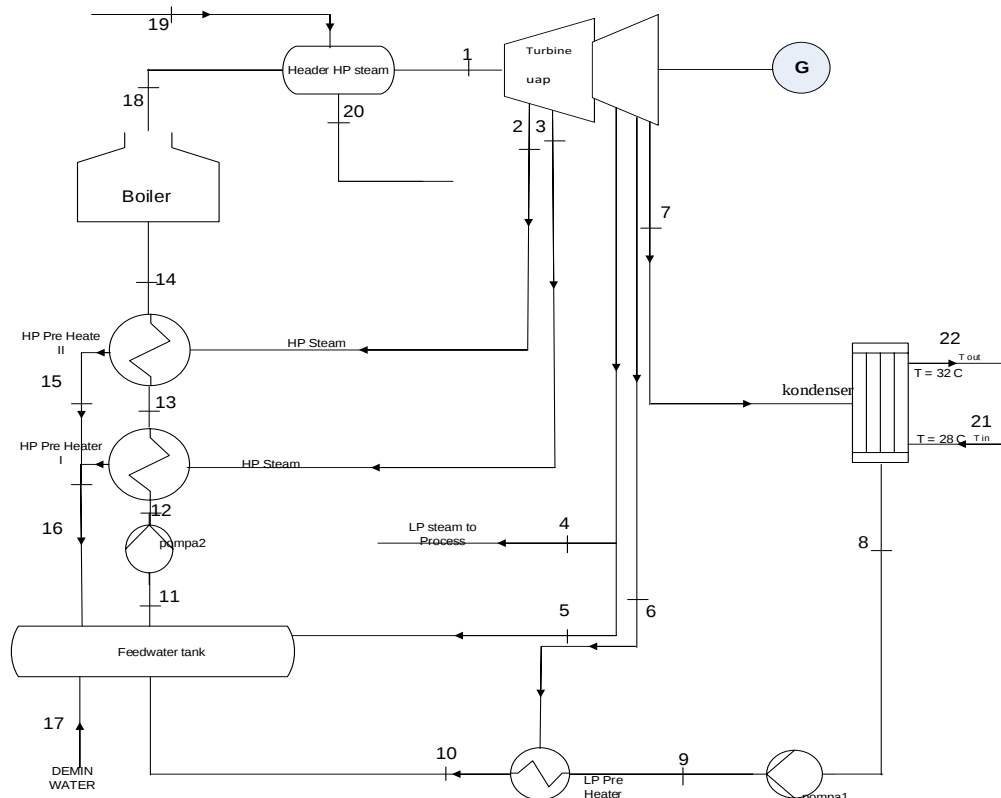
Analisis ekonomi dilakukan untuk mengetahui nilai pengeluaran total dari PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP per tahun dan harga jual listrik/kWh. Adapun nilai pengeluaran total yang dihitung adalah biaya investasi awal, biaya *operational maintenance fix*, biaya *operational maintenance variable*, dan biaya bahan bakar.

Perhitungan pertama dimulai dengan menghitung nilai PEC komponen (*purchased equipment cost*) PLTU seperti Turbin, Boiler, kondenser, lp pre-heater, pompa 1, feedwater tank(dearator), pompa 2, hp pre-heater 1, hp pre-heater 2.

Setelah nilai PEC komponen diperoleh, dilanjutkan dengan menghitung biaya investasi PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP, yang mana nilai PEC adalah 40% [5] dari total biaya investasi. Setelah biaya investasi diketahui, kemudian dilanjutkan dengan menghitung *annual levelized cost* dan laju biaya perkomponen. Dengan tingkat suku bunga pada tahun 2019 adalah 2,84% [6], *life time* PLTU adalah 25 tahun [7], nilai faktor maintenance (Φ) 1,06 [8].

➤ Purchased equipment cost (PEC)

Untuk menghitung PEC [9] dibutuhkan data operasional komponen PLTU dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Skema PLTU Dual Fuel Line PT RAPP

- Boiler

$$PEC_b = a_1 (\dot{m}_{16})^{a_2} \Phi_p \times \Phi_T \times \Phi_\eta \quad (1)$$

- Turbin uap

$$PEC_t = a_{51} P^{0,7} \left(1 + \frac{(0,05)^3}{1-\eta_t} \right) \times \left(1 + 5 \exp \left(\frac{T_{in}-866 \text{ K}}{10,24 \text{ K}} \right) \right) \quad (2)$$

- Pre heater

$$PEC_{hp} \quad (3)$$

$$= 1000 \times 0,02 \times 3,3 \times Q_x \left(\frac{1}{T_{TDD2} - a} \right)^{0,1} \times (10 \Delta P_{t2})^{-0,08} \times (10 \Delta P_{s2})^{-0,04}$$

- Feedwater

$$PEC_{fwt} = a_8 (\dot{m}_w)^{a_9} \quad (4)$$

- Kondenser

$$PEC_c = a_{61} \cdot \frac{Q_c}{k \cdot \Delta T_{in}} + a_{62} \cdot \dot{m}_{cw} + 70,5 (Q_c) \times (-0,6936 \cdot \ln(T_o - T_{in})) + 2,1898 \quad (5)$$

- Pompa

$$PEC_p = a_{71} \times \dot{m}_p^{0,7} \left(1 + \frac{0,2}{1-\eta_p} \right) \quad (6)$$

Sehingga diperoleh nilai PEC total sebesar US\$37.341.735,20

➤ Biaya investasi

PEC adalah 40% dari total biaya investasi, sehingga:

$$\text{Total capital invesment} = \frac{PEC_{total}}{40\%} \quad (7)$$

Didapat nilai investasi total US\$93.354.338,01

- **Modal sendiri (equity)**

$$\begin{aligned} E &= \% \text{ Equity} \times \text{biaya investasi} \quad (8) \\ &= 25\% \times \text{US\$93.354.338,01} \\ &= \text{US\$23.338.584,50} \end{aligned}$$

- **Hutang (debt)**

$$\begin{aligned} Cd &= \% \text{ debt} \times \text{biaya investasi} \quad (9) \\ &= 75\% \times \text{US\$93.354.338,01} \\ &= \text{US\$70.015.753,51} \end{aligned}$$

Diasumsikan masa peminjaman selama 10 tahun. Suku bunga pinjaman (i) untuk investasi pada Tahun 1997 [5] adalah 6,062%. Nilai pembayaran *debt* pada tahun ke-n adalah:

$$C_{dn} = [\{Cd/n + \{i\{Cd - (n * Cd/n)\}\}] \quad (10)$$

C_{dn} adalah nominal pembayaran pinjaman pada tahun ke-n, n adalah waktu peminjaman, i adalah suku bunga pinjaman bank, C_d adalah nilai pinjaman total dan n adalah periode tahun pembayaran [10].

- **IDC (interest during construction)**

IDC adalah pengeluaran dana untuk pembayaran bunga selama masa pembangunan proyek [11].

$$IDC = \% \text{ pengambilan pinjaman setiap bulan} \times \text{debt} \times \text{suku bunga USD/bulan.} \quad (11)$$

Dengan suku bunga pinjaman perbulan 3,58%.

$$IDC_1 = \left\{ \left(\frac{3,95}{100} \times \text{US\$ } 70.015.753,51 \right) \times 0,358\% \right\} \\ = \text{US\$ } 9,903$$

$$IDC_2 = \left[\left\{ \left(\frac{3,95}{100} \times \text{US\$ } 70.015.753,51 \right) \times 0,358\% \right\} + \right. \\ \left. IDC_1 \right] \\ = \text{US\$ } 19.807,55$$

Sehingga diperoleh nilai IDC selama 2 tahun proyek sebesar US\$75.268,69/tahun.

Faktor kapasitas PLTU *dual fuel line 2* adalah 0,58. Artinya PLTU *dual fuel line 2* ini beroperasi pada daya 58% dari 100MW yaitu 58MW rata rata dalam 1 tahun. Sehingga daya yang dihasilkan dalam 1 tahun adalah 506.772.382,29 kWh.

$$\text{Energi} = \text{Daya} \times \text{jam operasional} \times \text{FK} \quad (12)$$

$$\frac{\text{US\$}}{\text{kwh}} \text{ investasi} = \frac{\$ \text{investasi/tahun}}{\text{energi/tahun}} \quad (13)$$

Biaya total investasi adalah penjumlahan *equity, debt*, IDC US\$4.426.617,07. Nilai investasi/kWh adalah cent US\$ 0,87/kWh.

➤ **Biaya operational maintenance**

Biaya *operational maintenance* terdiri dari dua komponen, yaitu biaya tetap (*fix*) dan biaya *variable* [12]. Biaya *operational maintenance fix* meliputi gaji karyawan dan biaya tunjangan. Biaya tunjangan di PT RAPP adalah 2 bulan gaji untuk setiap tahun. Faktor gaji 46%, Sehingga diperoleh OM *fix* sebesar cent US\$ 0,162/kWh.

Dimana OM *variable* 30% dari OM *fix* [13]

$$\text{OM variable} = 30\% \times \text{biaya OM fix tahunan} \quad (14)$$

diperoleh cent US\$ 0,049/kWh.

➤ **Biaya bahan bakar**

Biaya bahan bakar dirumuskan [14]:

$$F(C) = \frac{864 \frac{\text{kcal}}{\text{kWh}} \times U_{ng}}{\eta} \quad (15)$$

Dengan menggunakan persamaan (15) maka didapatkan harga bahan bakar yang digunakan di PLTU *dual fuel line 2*. Dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Bahan Bakar PLTU *Dual Fuel Line 2*

Biaya Bahan Bakar	Persen Fuel	Fuel (US\$)
<i>Natural gas</i>	9,90%	0,0084
<i>Bark</i>	42,21%	0,0105
<i>Cangkang</i>	25,78%	0,0104
<i>Empty Fruit Bunch</i>	9,92%	0,0006
<i>Fiber Palm</i>	12,19%	0,0010

Total harga bahan bakar sebesar cent US\$ 3,09/kWh.

Dengan menjumlahkan biaya investasi, biaya OM *fix*, biaya OM *variable* dan biaya bahan bakar, sehingga didapat biaya listrik/kWh PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP 100MW sebesar US\$ 4,18/kWh.

➤ **Annual levelized cost dan laju biaya komponen**

Biaya *Annual levelized cost* adalah biaya pembelian kelengkapan alat komponen dikurangi dengan nilai pembungaan per periode waktu, seperti persamaan berikut [15]:

$$\dot{C}_k = \left[\left(\text{PEC} - \frac{0,1}{(1+i)^n} \right) \left(\frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} \right) \right] \quad (16)$$

Laju biaya komponen dapat dihitung dengan persamaan [15]:

$$Z_k = \frac{\Phi \times \dot{C}_k}{H} \quad (17)$$

dimana:

Φ = maintenance factor 1.06 [7]

H = Jam operasional PLTU

dengan tingkat suku bunga (i) 2019 adalah 2,84% [5] dan *life time* PLTU [6], dengan menggunakan persamaan (16,17) maka didapatkan nilai *annual levelized cost* dan laju biaya komponen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Annual Levelized Cost* dan Laju Biaya Komponen

Equipment	<i>Annual levelized cost</i> (US\$)	Z_k (US\$)
Boiler	1.097.408,66	133,89
Steam Turbine	992.344,96	121,07
HP pre-heater1	304.904,16	37,20
HP pre-heater2	375.959,46	45,87
LP- pre-heater	76.948,43	9,39
Dearator	287.871,81	35,12
Kondenser	17.753,94	2,17
Pompa 1	1.876,96	0,23
Pompa 2	3.396,23	0,41

➤ **Analisis Exergoeconomic**

Harga spesifik *exergy* dihitung dengan persamaan kesetimbangan biaya [3].

$$\Sigma_{out} \dot{C}_{out,k} = \Sigma_{in} \dot{C}_{in,k} + \dot{Z}_k \quad (18)$$

Sedangkan laju biaya aliran pemusnahan *exergy* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [3]: $\dot{C}_{D,k} = C_k \times \dot{X}_{D,k}$ (19)

Dengan menggunakan persamaan (18,19) maka didapatkan nilai biaya akibat pemusnahan *exergy* PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP 100MW pada tanggal 1/1/2019 00.00 A.M pada Tabel 3.

Tabel 3. *Biaya Exergy dan Destroyed* 1/1/2019 00.00 A.M

Komponen	1/1/2019 00.00 A.M	
	<i>Exergy cost</i> US\$	<i>Destroyed cost</i> US\$
Boiler	2,81	533.048,48
Steam Turbine	0,20	234,05
HP pre-heater1	39,33	83.153,52
HP pre-heater2	50,61	262.869,97
LP- pre-heater	36,51	10.373,05
Feedwater	43,58	34.849,08
Kondenser	17,19	44.063,03
Pompa 1	17,29	71,48

Pompa 2	41,68	42.846,85
Total	249,20	1.011.509,52

Total kerugian *cost* akibat pemusnahan *exergy* pada tanggal 1/1/2019 PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP 100MW dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Total Biaya *Exergy* dan *Destroyed* 1/1/2019

Komponen	Total cost 1/1/2019	
	<i>Exergy cost</i> US\$	<i>Destroyed cost</i> US\$
Boiler	75,447	13.582.714,29
Steam Turbine	5,152	6.069,37
HP pre-heater1	1.047,584	2.430.500,66
HP pre-heater2	1.304,828	7.330.728,84
LP- pre-heater	1.013,774	268.028,37
Feedwater	1.150,376	675.818,22
Kondenser	517,088	1.251.886,81
Pompa 1	520,715	2.214,08
Pompa 2	1.093,928	1.206.171,17
Total	6.728,892	26.754.131,81

4. Pembahasan

Analisis *exergoeconomic*, merupakan teknik yang mengkombinasikan analisis *exergy* dengan pendekatan ekonomi (*cost*). Analisis ini dimulai dengan melakukan analisis *exergy* [16], agar diketahui nilai pemusnahan *exergy* pada masing-masing komponen PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP 100MW.

Analisis ekonomi ini dilakukan untuk mengetahui nilai pengeluaran total PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP 100MW per tahun sebesar US\$ 21.163.865,53/tahun.

Pembangunan PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP 100 MW ini dilakukan pada April 1996 sampai dengan April 1998. Artinya masa pembangunan untuk PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP 100 MW ini adalah 2 tahun. Dari analisis ekonomi didapatkan harga listrik/kWh yang dihasilkan PLTU *dual fuel line 2* PT RAPP 100MW sebesar US\$ 0,0418/kWh atau samadengan cent US\$ 4,18/kWh.

Setelah diperoleh nilai biaya dari *annual levelized cost* dan laju biaya komponen, dilanjutkan dengan menghitung nilai kerugian *cost* akibat pemusnahan *exergy*, sehingga didapatkan nilai biaya akibat pemusnahan *exergy* terbesar terjadi di boiler (ruang bakar) sebesar US\$533.048,48/hour dan terkecil di pompa 1 yaitu US\$ 71,48/hour. Dengan total biaya akibat pemusnahan *exergy* US\$ 1.011.509,52/hour.

Nilai biaya akibat pemusnahan *exergy* di boiler (ruang bakar) sangat besar karena reaksi pembakaran yang terjadi ruang bakar boiler tidak sempurna [17]. Ada beberapa faktor yang menyebabkan reaksi pembakaran yang tidak sempurna di ruang bakar yaitu:

- Temperatur bahan bakar biomass yang fluktuatif.
- Temperatur udara pembakaran.

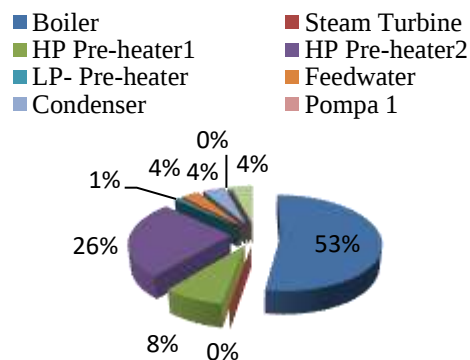
- Perbandingan laju udara pembakaran dengan laju massa bahan bakar (AFR) yang dalam operasional tidak diautomisasi, hal ini mengakibatkan nilai *excess air* yang bisa saja berlebihan.

Sementara nilai biaya akibat pemusnahan *exergy* di HP pre-heater, LP pre-heater, condenser cenderung sangat besar nilainya, hal ini disebabkan nilai *exergy* yang sangat besar dikomponen tersebut. Nilai *exergy* di heater dan kondenser cenderung besar dikarenakan adanya akumulasi dari pengendapan, pengerakan, korosi yang terjadi dipermukaan *shellside* dan *tubeside* heater dan kondenser, yang mengakibatkan laju perpindahan panas yang tidak optimal.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai dari kerugian *cost* total akibat pemusnahan *exergy* adalah US\$1.011.509,52/hour. Persentase nilai biaya *exergy destroyed* dapat dilihat pada gambar 3.

- Boiler US\$ 533.048,48
- Turbin US\$ 234,05
- HP pre-heater 1 US\$ 83.153,52
- HP pre-heater 2 US\$ 262.869,97
- LP pre-heater US\$ 10.373,05
- Feedwater US\$ 34.849,08
- Kondenser US\$ 44.063,03
- Pompa 1 US\$ 71,48
- Pompa 2 US\$ 42.846,85



Gambar 3. Diagram Nilai Biaya *Exergy Destroyed* Setiap Komponen PLTU *Dual Fuel Line 2* 100MW

Ucapan Terimakasih

Terimakasih penulis ucapkan kepada pihak PT Riau Andalan Pulp and Paper yang telah memberikan penulis kesempatan untuk menganalisa PLTU *dual fuel line 2* dan atas informasi yang dibutuhkan penulis. Selanjutnya dosen pembimbing penulis, Bapak Romy, S.T., M.Eng dan juga Bapak Dr. Awaludin Martin, S.T.,M.T. Selanjutnya seluruh keluarga besar Teknik mesin UNRI.

Daftar Pustaka

- [1] PT RAPP, 1998. Dokumentasi PT Riau Andalan Pulp and Paper.
- [3] Cengel, Yunus A. 2005. *Thermodynamic an Engineering Approach*. Newyork : McGraw.
- [4] Bejan, Adrian, George Tsatsaronis, Michael Moran. 1996. *Thermal Design and optimization*. Newyork: A Willey-interscience publication.
- [5] Peters, M.S, 1991. *Plant Design and Economic for Chemical Engineering*, fourth edition.
- [6] Worldwide interest rate and economic indicators. <http://www.global-rates.com> (diakses April 2019).
- [7] ABMA, 2010. “*Spesification Design Life Requirements and Implication Relative for Boilers*.”
- [8] S.O. Oyepedo, R.O. fagbenle, S.S. Adel Fila and Mahbub Alam. 2015. *Exergi Costing and Performance evaluation of selected gas turbine power plant*.
- [9] Ameri Mohammad, Poutin Ahmadi and Armita Hamidi. 2008. *Energy, Exergy and Exergoeconomic analisis of a steam power plant*. International Jurnal of Energy Research, 33: 499-512.
- [10] Fatony, Muhammad Gadhavai. 2010. “*Analisa Kelayakan Ekonomi Proyek*.”. Program Sarjana Ekonomi, Universitas Indonesia.
- [2] Miswandi, Awaludin Martin, 2015. Analisis Eksergi Pada Ruang Bakar PLTG Teluk Lembu 20MW. Jom FTEKNIK Volume 2 No.2 2015.
- [11] Wahyuni Putri, Awaludin Martin, 2015. Analisis *Exergoeconomic* Pada Ruang Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTGU) Teluk Lembu 20MW. Jom FTEKNIK Volume 2 No.2 2015
- [12] Napitupulu Gideon Rewin, 2015. *Studi Kelayakan Ekonomi PLTU Berbahan Bakar Fiber dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Domestic Power*. DTE FT USU.
- [13] The Danish Energy Agency and Energinet.dk. *Technology data for energy plants*, May 2012.
- [14] Nugroho, Hamid Paminto, 2012. *Studi Pembangunan PLTU Kambang 2x100MW dan Pengaruhnya Terhadap Tarif Listrik Regional di Sumatera Barat*. Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS.
- [15] Igbong D.I and D.O Fakorede. *Exergoeconomic Analysis of a 100 MW unit GE frame 9 Gas turbine plant in Ughelli, Nigeria*. International Jurnal of engineering and Technology , August 2014.
- [16] Siregar Samuel, 2019. Analisis Exergy Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Dual Fuel Line 2 PT RAPP 100MW.
- [17] Martin Awaludin, Miswandi, Adhy Prayitno, Iwan Kurniawan, Romy