

Exergy and Energy Analysis of a 660 MW Tanjung Jati B Unit 2 Steam Power Plant

Eflita Yohana^{1*}, M.S.K. Tony Suryo U.¹, Fery Fahmi I.²

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Program Studi Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*Corresponding author: efnan2003@gmail.com

Abstrak. Electricity consumption in every country is increasing every year. This is because electricity is a very important energy in the development of a country. One of the electricity producers is the Steam Power Plant (PLTU). Jepara's Tanjung 2 Unit 2 PLTU is a coal-fired electricity producer that has a production capacity of 660 MW and has been operating since November 2006. This has caused a decrease in performance due to operations, it is necessary to analyze to identify the performance of the power plant using Cycle-Tempo software. From the results of this study, the highest exergy destruction value obtained in the boiler for actual conditions was 877.16 MW with exergy efficiency of 45.83%. As for the ideal conditions, the exergy destruction value of 870.72 MW with an exergy efficiency of 46.50%. The smallest exergy destruction value in LPH 3 in the actual and ideal conditions was 0.97 MW with an exergy efficiency of 91.46%. The largest value of energy losses in the boiler component for the actual condition is 234.29 MW with an energy efficiency value of 87.60%. As for the ideal conditions on the boiler energy losses value of 226.09 MW with an energy efficiency value of 87.67%. The smallest energy loss value in the CEP component for actual and ideal conditions is 0.4 MW with an energy efficiency of 15.46%.

Abstrak. Konsumsi listrik setiap negara selalu meningkat setiap tahunnya. Hal ini disebabkan karena energi listrik merupakan energi yang sangat penting dalam pembangunan suatu negara. Salah satu penghasil listrik adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTU Tanjung Jati B unit 2 Jepara merupakan penghasil listrik dengan bahan bakar batubara yang memiliki kapasitas produksi sebesar 660 MW dan beroperasi sejak bulan November 2006. Hal ini menyebabkan penurunan performa akibat pengoperasian, oleh karena itu perlu dilakukan analisis untuk mengidentifikasi performa *power plant* menggunakan *software Cycle-Tempo*. Dari hasil penelitian ini, didapatkan nilai destruksi eksergi terbesar pada *boiler* untuk kondisi aktual sebesar 877,16 MW dengan efisiensi eksergi sebesar 45,83 %. Sedangkan untuk kondisi ideal, nilai destruksi eksergi sebesar 870,72 MW dengan efisiensi eksergi 46,50 %. Nilai destruksi eksergi terkecil pada LPH 3 pada kondisi aktual dan ideal sebesar 0,97 MW dengan efisiensi eksergi sebesar 91,46 %. Nilai energi *losses* terbesar pada komponen *boiler* untuk kondisi aktual sebesar 234,29 MW dengan nilai efisiensi energi sebesar 87,60 %. Sedangkan untuk kondisi ideal pada *boiler* nilai energi *losses* 226,09 MW dengan nilai efisiensi energi sebesar 87,67 %. Nilai energi *losses* terkecil pada komponen CEP untuk kondisi aktual dan ideal sebesar 0,4 MW dengan efisiensi energi sebesar 15,46%.

Kata kunci: PLTU, eksergi, energi, destruksi eksergi, *energy losses*, *Cycle Tempo*.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Menurut proyeksi Badan Energi Dunia (*International Energy Agency-IEA*), hingga tahun 2030 permintaan energi dunia meningkat sebesar 45% atau rata-rata mengalami peningkatan sebesar 1,6% pertahun [1]. Energi digunakan manusia untuk menunjang kehidupan, salah satunya adalah energi listrik. Mengingat betapa vitalnya manfaat energi listrik, pusat listrik adalah infrastruktur vital bagi negara kita. Besarnya kebutuhan energi listrik serta penggunaannya terus menerus mengalami peningkatan, tidak terkecuali di Indonesia. Oleh sebab itu diperlukan suatu penghasil listrik guna

memenuhi jumlah permintaan kebutuhan energi listrik yang ada. PLTU Tanjung Jati B unit 2 Jepara merupakan penghasil listrik dengan bahan bakar batubara yang memiliki kapasitas produksi sebesar 660 MW dan beroperasi sejak bulan November 2006. Akibat waktu pengoperasian selama 13 tahun tersebut menyebabkan penurunan performa pada pembangkit. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis untuk mengidentifikasi performa *power plant*. Dasar-dasar yang diperlukan untuk analisis termodinamika sistem pusat listrik termasuk prinsip-prinsip hukum kekekalan massa dan

konservasi energi, hukum kedua termodinamika, dan data termodinamika [2].

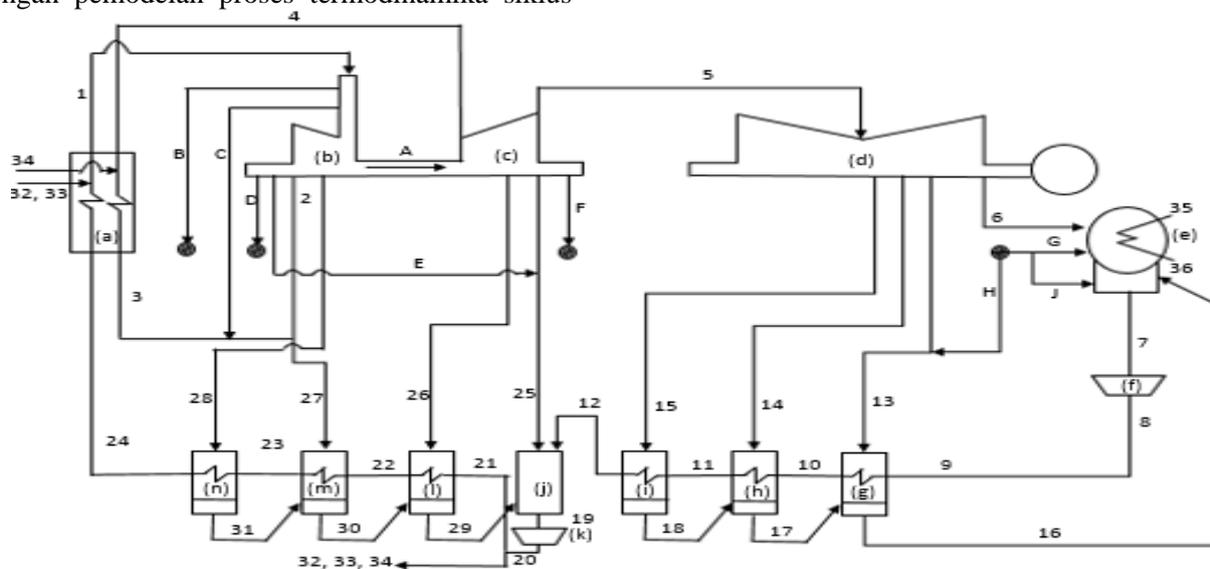
Dalam peningkatan performa dari suatu komponen di Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) digunakan hukum pertama termodinamika yaitu terkait dengan analisis energi [3]. Analisis energi dan exergi berdasarkan hukum pertama dan kedua termodinamika digunakan untuk menganalisis sistem termal. Analisis eksergi bertujuan untuk menghitung potensial kerja maksimum suatu sistem dalam mencapai kesetimbangan terhadap kondisi lingkungan [2] serta mengidentifikasi terjadinya pemusnahan eksergi yang dipandang sebagai kerugian-kerugian akibat perpindahan eksergi mendampingi kalor dan kerja [3]. Hasil analisis eksergi di sistem mampu menunjukkan lokasi terjadinya penghancuran eksergi [4]. Analisis energi dan eksergi dari pembangkit listrik tergantung pada komponen utama seperti boiler, turbin, kondenser, dan pompa [5]. Aljundi [6] menganalisis komponen sistem secara terpisah, mengidentifikasi dan mengukur komponen yang memiliki kerugian energi dan eksergi terbesar, disimpulkan boiler menjadi sumber utama dari penghancuran eksergi di pembangkit listrik.

Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menganalisis perancangan sistem siklus uap (*Steam Cycle*) dengan pemodelan proses termodinamika siklus

sistem yaitu *Cycle Tempo*. Perangkat lunak *Cycle Tempo* merupakan program yang digunakan untuk pemodelan termodinamika dan optimalisasi sistem konversi energi seperti pembangkit dan sistem refrigerasi. Sistem tersebut terdiri dari beberapa komponen yang saling berhubungan dengan pipa sehingga membentuk hubungan antara massa dan energi. Tujuan utama dari perangkat lunak *Cycle Tempo* adalah didalamnya yaitu sifat-sifat termodinamika, komposisi gas, laju aliran massa [7].

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan perhitungan dan analisis menggunakan *software Cycle Tempo* untuk menentukan efisiensi eksergi dan efisiensi energi secara keseluruhan maupun tiap komponen. Salah satu metode yang dilakukan adalah melaksanakan observasi terhadap *power plant* Tanjung Jati B Unit 2 untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan. Data-data yang dibutuhkan adalah data HHV, tekanan, temperatur, entalpi, entropi dan laju aliran massa dari masing-masing titik pengukuran yang sudah dibuat dalam skema PLTU Tanjung Jati B unit 2 seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Dari data yang diperoleh kemudian dilakukan pemodelan menggunakan *software Cycle Tempo*. Pemodelan dilakukan dengan memvariasikan aliran *mainsteam* pada kondisi aktual dan ideal.



Keterangan:

- (a) Boiler
- (b) Turbin HP
- (c) Turbin IP
- (d) Turbin LP
- (e) Kondensator
- (f) CEP
- (g) LPH 1 heater
- (h) LPH 2 heater
- (i) LPH 3 heater
- (j) Deaerator
- (k) BFP
- (l) HPH 5 heater
- (m) HPH 6 heater
- (n) HPH 7 heater

Gambar 1. Skema overview PLTU Tanjung Jati B Unit 2.

HHV merupakan nilai panas pembakaran bahan bakar yang diperoleh dari data hasil analisis *sample* batubara. Data temperatur,

tekanan dan laju aliran massa diambil dari sistem kontrol otomatis. Sistem kontrol tersebut mampu merangkum data dari sensor alat ukur

yang terpasang pada titik pengukuran secara periodik. Data entalpi dan entropi diperoleh dari table termodinamika berdasarkan tingkat keadaannya dilihat dari nilai tekanan dan temperatur. Pada proses isentropik berlaku entropi konstan. Sehingga entalpi pada saat isentropik dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut:

$$h_i = h_1 + \frac{s_i - s_1}{s_2 - s_1} (h_2 - h_1) \quad (2.1)$$

Data entalpi, entropi dan laju aliran massa dari masing-masing pengukuran digunakan untuk menghitung energi dan eksergi tiap titik pengukuran. Setelah mendapatkan energi dan eksergi di tiap titik pengukuran maka analisis di tiap komponen bisa dilakukan dengan menggunakan neraca energi dan eksergi. Dengan demikian hasil penelitian mampu memberikan informasi mengenai komponen yang paling tidak efisien atau mengalami *irreversibilitas* terbesar.

Metode Perhitungan Data. Analisis efisiensi energi dan eksergi dilakukan pada tiap komponen PLTU Tanjung Jati B Unit 2. Komponen PLTU Tanjung Jati B Unit 2 yang dianalisis ialah *boiler*, turbin HP, turbin IP, turbin LP, kondensor, pompa CEP, LP heater 1, LP heater 2, LP heater 3, *deaerator*, BFP, HP heater 5, HP heater 6, dan HP heater 7. Komponen tersebut membentuk suatu siklus aliran fluida. Komponen diperlakukan sebagai sebuah kontrol volume dengan membedakan antara aliran masuk dan aliran keluar. Sistem juga diasumsikan dalam kondisi *steady*. Analisis efisiensi energi, efisiensi eksergi dan eksergi destruksi dianalisis dengan menghitung energi dan eksergi pada masing-masing komponen menggunakan rumus dibawah ini.

Persamaan Keseimbangan Massa. Siklus *power plant* Tanjung Jati B Unit 2 merupakan siklus dari suatu fluida berupa *steam* dan *feedwater* keluar dari komponen satu masuk ke komponen lainnya. Setiap komponen berlaku persamaan keseimbangan massa bahwa laju aliran massa memasuki komponen sama besarnya dengan total laju aliran massa keluar dari komponen. Sehingga dalam analisis energi dan eksergi pada siklus *power plant* Tanjung Jati B Unit 2 berlaku persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (2.2)$$

Persamaan Perhitungan Energi. Analisis energi dalam penelitian ini dilakukan dengan menghitung besarnya energi pada masing-masing komponen. Adapun besarnya nilai energi merupakan perkalian antara laju aliran massa dengan besarnya entalpi atau dirumuskan pada persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$E_i = \dot{m}_i x h_i \quad (2.3)$$

Sedangkan khusus perhitungan energi untuk bahan bakar batubara menggunakan persamaan (2.4) sebagai berikut:

$$E_i = \dot{m}_i x H_{HHV} \quad (2.4)$$

Persamaan Perhitungan Eksergi.

Besarnya eksergi merupakan penjumlahan nilai eksergi fisik dan eksergi kimia. Persamaan perhitungan eksergi pada masing-masing komponen ditampilkan pada persamaan (2.5) sebagai berikut:

$$E_i = E_i^{PH} + E_i^{CH} \quad (2.5)$$

Persamaan Perhitungan Eksergi Fisik.

Eksergi fisik dapat dianalisis berdasarkan jenis fluida pada masing-masing komponen. Nilai eksergi fisik pada *steam* dan *feedwater* merujuk pada persamaan (2.6). Dalam penelitian ini, udara dianggap sebagai gas ideal, sehingga persamaan eksergi fisik udara dapat merujuk pada persamaan (2.7). Sedangkan eksergi fisik pada *flue gas* merujuk pada persamaan (2.8).

$$E_i^{PH} = \dot{m}_i [h_i - h_0 - T_0 (s_i - s_0)] \quad (2.6)$$

$$\dot{E}^{PH} = \dot{m} e^{PH} = \dot{m} \left[(h_i - h_0) - T_0 (s_i^o(T, p) - s_0^o(T_0, p_0)) - \frac{\bar{R}}{M_a} \ln \frac{p_i}{p_0} \right] \quad (2.7)$$

$$\dot{E}_{fg}^{PH} = \dot{m}_{fg} e_{fg}^{PH} = \dot{m}_{fg} \frac{[(\bar{h}_{fg} - \bar{h}_0) - T_0 (\bar{s}_{fg} - \bar{s}_0)]}{M_{fg}} \quad (2.8)$$

Dimana M_{fg} merupakan penjumlahan dari fraksi mol dikalikan dengan berat molekul dari masing-masing senyawa penyusun *flue gas* seperti ditunjukkan pada persamaan (2.9):

$$M_{fg} = \sum (x_k \cdot M_k) \quad (2.9)$$

Persamaan Perhitungan Eksergi Kimia.

Eksergi kimia yang terdapat pada persamaan (2.6) dapat dianalisis berdasarkan jenis fluida pada masing-masing komponen. Perhitungan eksergi kimia untuk produk *steam* dan *feedwater* dapat menggunakan persamaan (2.10)

$$\dot{E}^{CH} = \dot{m} \frac{e^{-CH}}{M} \quad (2.10)$$

Eksergi kimia udara bernilai nol pada persamaan (2.11). Hal ini dikarenakan komposisi udara yang digunakan untuk proses pembakaran menyerupai komposisi udara pada lingkungan sehingga tidak terjadi pertukaran substansi terhadap lingkungan. Eksergi *flue gas* diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.12). Sedangkan eksergi kimia bahan bakar batubara dapat dihitung dengan mengalikan antara laju aliran massa dengan eksergi kimia molar batubara. Persamaan eksergi kimia bahan bakar batubara ditunjukkan pada persamaan (2.13) sebagai berikut:

$$\dot{E}_{udara}^{CH} = 0 \quad (2.11)$$

$$\dot{E}_{fg}^{CH} = \dot{m}_{fg} \frac{e_{fg}^{-CH}}{M_{fg}} \quad (2.12)$$

$$\dot{E}_f^{CH} = \dot{m}_f e_f^{CH} \quad (2.13)$$

Keterangan:

E = Persamaan kesetimbangan energi

E = Persamaan kesetimbangan eksergi

M_k = Massa molar dari suatu komponen k (kg/kmol) (M_k diperoleh dari Tabel A-1)

x_k = fraksi mol dari komponen k pada campuran *flue gas*

Data Parameter Kerja. Data parameter kerja dalam analisis eksergi dan energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Unit 2 PT PLN (Persero) Unit Induk Pembangunan Tanjung Jati B ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Aliran Termodinamika pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B Unit 2.

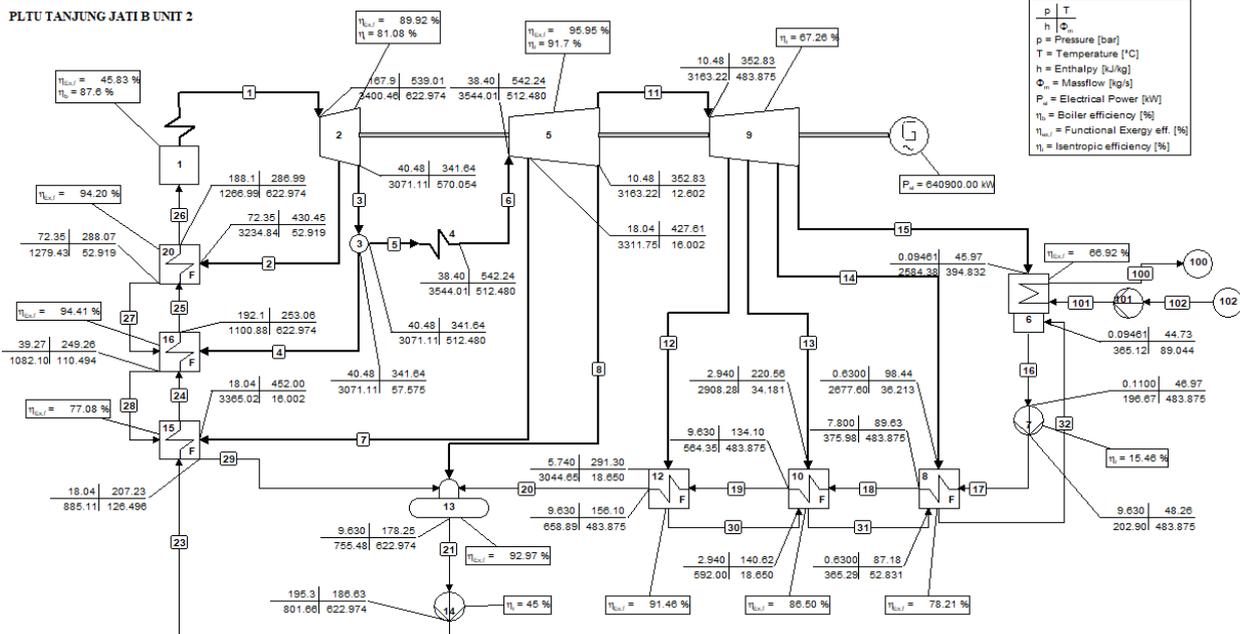
No.	Fasa	Temperatur (C)	Tekanan (bar)	Laju Aliran Massa (Kg/s)
1	<i>Superheated Vapor</i>	539,01	167,90	618,52
2	<i>Superheated Vapor</i>	341,64	40,48	560,25
3	<i>Superheated Vapor</i>	341,64	40,48	506,43
4	<i>Superheated Vapor</i>	542,24	38,40	506,43
5	<i>Superheated Vapor</i>	341,64	40,48	455,18
6	<i>Saturated Vapor</i>	45,97	0,0946	381,26
7	<i>Saturated Liquid</i>	46,97	0,11	456,33
8	<i>Compressed Liquid</i>	48,30	9,63	456,33
10	<i>Saturated Liquid</i>	89,60	9,63	456,33
11	<i>Saturated Liquid</i>	134,10	9,63	456,33
12	<i>Saturated Liquid</i>	156,10	9,63	456,33
13	<i>Saturated Vapor</i>	98,44	0,63	24,64
14	<i>Saturated Vapor</i>	220,56	2,94	29,44
15	<i>Saturated Vapor</i>	291,30	5,74	19,84
16	<i>Saturated Liquid</i>	55,39	0,16	75,08
17	<i>Saturated Liquid</i>	98,06	0,95	50,44
18	<i>Saturated Liquid</i>	140,62	3,68	21,00
19	<i>Compressed Liquid</i>	182,06	9,63	619,68
21	<i>subcolled Liquid</i>	186,45	195,03	613,98
22	<i>Saturated Liquid</i>	209,10	193,08	613,98
23	<i>Saturated Liquid</i>	253,07	191,13	613,98
24	<i>Saturated Liquid</i>	291,66	189,18	613,98
25	<i>Superheated Vapor</i>	352,83	10,48	33,08
26	<i>Superheated Vapor</i>	452,33	18,04	18,18
27	<i>Superheated Vapor</i>	340,13	40,48	53,82
28	<i>Superheated Vapor</i>	430,45	74,73	58,27
29	<i>Saturated Liquid</i>	192,66	18,04	130,27

Lanjutan Tabel 1

30	Saturated Liquid	214,52	40,48	112,09
31	Saturated Liquid	258,58	74,73	58,27

Pemodelan Cycle Tempo. Penelitian ini menggunakan perhitungan dan analisis menggunakan *software Cycle Tempo* untuk pemodelan termodinamika dan optimalisasi sistem konversi energi pada pembangkit. Pemodelan dari

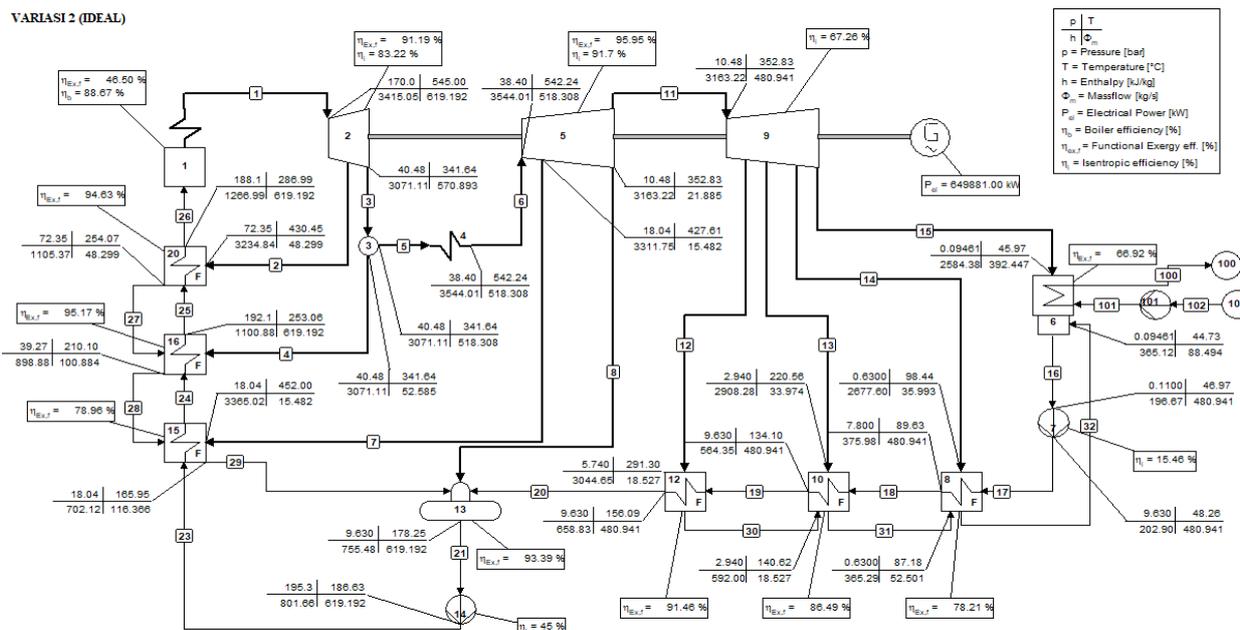
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B unit 2 dari data aktual tekanan dan temperatur pada *mainsteam*, dengan tekanan 167,9 bar dengan temperatur 539,01°C dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 2 kondisi aktual menggunakan *Cycle Tempo*

Pemodelan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B unit 2 dari data ideal dengan variasi tekanan dan temperatur pada

mainsteam, dengan tekanan 170 bar dengan temperatur 545°C dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 2 kondisi ideal menggunakan *Cycle Tempo*

Hasil dan Pembahasan

Analisis efisiensi eksergi dan efisiensi energi dilakukan pada tiap komponen PLTU Tanjung Jati B Unit 2. Data diperoleh dari *performance test* Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B Unit 2 yang digunakan untuk analisis energi dan eksergi. Hasil dari analisis eksergi dan energi adalah sebagai berikut :

Hasil Analisis Eksergi. Analisis eksergi meliputi nilai efisiensi eksergi dan destruksi eksergi tiap komponen pada kondisi aktual maupun kondisi ideal. Hasil analisis eksergi dari pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 2 untuk kondisi aktual dan kondisi ideal dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai destruksi eksergi

terbesar pada kondisi aktual dan kondisi ideal terjadi pada komponen *boiler* sebesar 877,16 MW dan 870,72 MW, dengan nilai efisiensi ekserginya masing-masing sebesar 45,83% dan 46,50%. Kemudian disusul oleh komponen LPT, HPT, serta Kondensor. Sedangkan nilai destruksi eksergi terkecil pada kondisi aktual maupun kondisi ideal terjadi pada komponen LPH 3 sebesar 0,97 MW, dengan nilai efisiensi ekserginya sebesar 91,46%. Nilai efisiensi eksergi kondisi ideal lebih besar daripada kondisi aktual. Hal ini disebabkan karena perbedaan tekanan dan temperatur pada *mainsteam* kondisi aktual memiliki tekanan 167,9 bar dengan temperatur 539,01°C. Sedangkan untuk *mainsteam* kondisi ideal memiliki tekanan 170 bar dengan temperature 545°C.

Tabel 2. Hasil Analisis Eksergi Tiap Komponen pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 2 pada Kondisi Aktual dan Kondisi Ideal

Komponen	Efisiensi Eksergi Kondisi Aktual	Efisiensi Eksergi Kondisi Ideal	Destruksi Eksergi Kondisi Aktual (MW)	Destruksi Eksergi Kondisi Ideal (MW)
Boiler	45,83%	46,50%	877,16	870,72
HPT	89,92%	91,19%	23,25	20,97
IPT	95,95%	95,95%	8,69	8,69
LPT	69,39%	69,39%	84,62	84,62
Kondensor	66,92%	66,92%	22,46	22,46
CEP	37,19%	37,19%	12,15	12,15
BP-BFP	62,70%	62,70%	14,56	14,56
HPH 7	94,20%	94,63%	2,35	2,29
HPH 6	94,41%	95,17%	2,54	2,49
HPH 5	77,08%	78,96%	5,29	5,27
LPH 3	91,46%	91,46%	0,97	0,97
LPH 2	86,50%	86,49%	1,7	1,7
LPH 1	78,21%	78,21%	2,31	2,31
Daerator	92,97%	93,39%	17,22	17,2

Hasil Analisis Energi. Analisis eksergi meliputi nilai efisiensi eksergi dan destruksi eksergi tiap komponen pada kondisi aktual maupun kondisi ideal. Hasil analisis eksergi dari pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 2 untuk kondisi aktual dan kondisi ideal dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai energi *losses* terbesar pada kondisi aktual dan kondisi ideal terjadi pada komponen *boiler* sebesar 234,29 MW dan 226,09 MW, dengan nilai efisiensi energinya masing-masing sebesar 87,60% dan 88,67%. Kemudian disusul oleh komponen Kondensor, LPT, serta

HPT. Sedangkan nilai destruksi eksergi terkecil pada kondisi aktual maupun kondisi ideal terjadi pada komponen CEP sebesar 0,4 MW, dengan nilai efisiensi energinya sebesar 15,46% . Nilai efisiensi energi kondisi ideal lebih besar daripada kondisi aktual. Hal ini disebabkan karena perbedaan tekanan dan temperatur pada *mainsteam* kondisi aktual memiliki tekanan 167,9 bar dengan temperatur 539,01°C. Sedangkan untuk *mainsteam* kondisi ideal memiliki tekanan 170 bar dengan temperature 545°C..

Tabel 3. Hasil Analisis Energi Tiap Komponen pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 2 pada Kondisi Aktual dan Kondisi Ideal

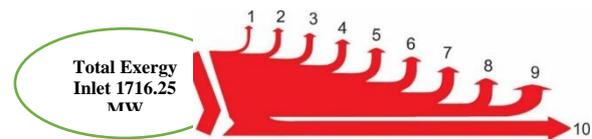
KOMPONEN	Efisiensi Energi Kondisi Aktual	Efisiensi Energi Kondisi Ideal	Energi Losses Kondisi Aktual (MW)	Energi Losses Kondisi Ideal (MW)
Boiler	87,60%	88,67%	234,29	226,09
HPT	81,08%	83,22%	54,82	50,65
IPT	91,70%	91,70%	17,33	17,33
LPT	67,26%	67,26%	112,54	112,54
Kondensor	81,50%	81,50%	168,02	168,02
CEP	15,46%	15,46%	0,4	0,4
BP-BFP	45,00%	45,00%	12,67	12,67
HPH 7	99,27%	99,37%	0,9	0,77
HPH 6	99,42%	99,53%	0,73	0,6
HPH 5	99,27%	99,37%	0,42	0,36
LPH 3	98,13%	98,13%	0,8	0,8
LPH 2	83,93%	83,93%	11,88	11,88
LPH 1	86,40%	86,40%	9,37	9,37
Daerator	91,45%	91,47%	43,75	43,69

Grassman Diagram. Diagram Grassman dapat dianalisis dengan menggunakan hasil perhitungan eksergi dan laju destruksi eksergi pada Pembangkit listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B unit 2. Nilai destruksi eksergi per komponen pada kondisi aktual ditunjukkan pada Tabel 4, dan untuk kondisi ideal ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Nilai Destruksi Eksergi Untuk Kondisi Aktual

Komponen	Destruksi Eksergi (MW)	Presentase Destruksi Eksergi (%)
LPH	4,98	0,29%
HPH	10,18	0,59%
CEP	12,15	0,71%
BFP	14,56	0,85%
Dearerator	17,22	1,00%
Kondensor	22,46	1,31%
Turbin	116,64	6,80%
Boiler	877,18	51,10%
Net Power Output	640,9	37,34%

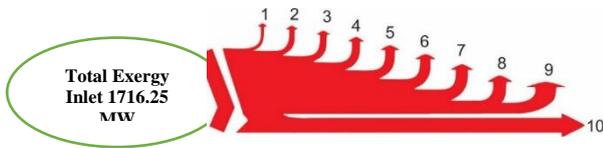
Tabel 4 adalah tabel destruksi eksergi dari PLTU Tanjung Jati B untuk *mainsteam* kondisi aktual yang dapat dibentuk menjadi sebuah Grassman diagram. Grassman diagram untuk kondisi aktual dapat dilihat pada Gambar 4.

**Gambar 4.** Diagram Grassman Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 2 kondisi aktual**Tabel 5.** Nilai Destruksi Eksergi Untuk Kondisi Ideal

Komponen	Destruksi Eksergi (MW)	Presentase Destruksi Eksergi (%)
LPH	4,9	0,29%
HPH	10,05	0,59%
CEP	12,16	0,71%
BFP	14,58	0,85%
Dearerator	17,2	1,00%
Kondensor	22,46	1,31%
Turbin	114,28	6,66%
Boiler	870,72	50,73%
Net Power Output	649,88	37,87%

Tabel 5 adalah tabel destruksi eksergi dari PLTU Tanjung Jati B untuk *mainsteam* kondisi ideal yang dapat dibentuk menjadi sebuah Grassman diagram.

Grassman diagram untuk kondisi ideal dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Grassman Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 2 kondisi ideal.

Kesimpulan

Penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa analisis energi dan eksergi mampu mengindikasikan kondisi performa dari tiap komponen *power plant*. Dengan menggunakan hukum pertama dan kedua termodinamika maka analisis energi dan analisis exergi dapat dilakukan. Nilai destruksi eksergi terbesar pada kondisi aktual dan kondisi ideal terjadi pada komponen *boiler* sebesar 877,16 MW dan 870,72 MW, dengan nilai efisiensi ekserginya masing-masing sebesar 45,83% dan 46,50%. Kemudian disusul oleh komponen LPT, HPT, serta Kondensor. Sedangkan nilai destruksi eksergi terkecil pada kondisi aktual maupun kondisi ideal terjadi pada komponen LPH 3 sebesar 0,97 MW, dengan nilai efisiensi ekserginya sebesar 91,46%. Nilai energi *losses* terbesar pada kondisi aktual dan kondisi ideal terjadi pada komponen *boiler* sebesar 234,29 MW dan 226,09 MW. Kemudian disusul oleh komponen Kondensor, LPT, serta HPT. Sedangkan nilai destruksi eksergi terkecil pada kondisi aktual maupun ideal terjadi pada komponen CEP sebesar 0,4 MW. Hasil analisis ini dapat menjadi kajian awal dalam melakukan perbaikan sistem pembangkit Tanjung Jati B unit 2 Jepara di masa yang akan datang.

Penghargaan

Ucapan terimakasih ditujukan kepada PT. PLN Tanjung Jati B Jepara karena telah memberikan kesempatan untuk melakukan proses pengambilan data sehingga karya ilmiah ini dapat terselesaikan. Selanjutnya ucapan terimakasih juga ditujukan kepada pihak Universitas Diponegoro yang memberikan fasilitas dan bimbingan dalam menyelesaikan karya ilmiah ini.

Referensi

[1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Media Center - Arsip Berita - Hingga 2030, Permintaan Energi Dunia Meningkat 45 %. 2008. Informasi dari: [https://www.esdm.go.id/id/media-](https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hingga-2030-permintaan-energi-dunia-meningkat-45-)

[center/arsip-berita/hingga-2030-permintaan-energi-dunia-meningkat-45-](https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hingga-2030-permintaan-energi-dunia-meningkat-45-) [diakses pada 18 September 2019]

- [2] Moran MJ, Shapiro HN. Fundamentals of engineering thermodynamics. New York: John Wiley; 2006.
- [3] A. Bejan, G. Tsatsaronis MM. Thermal design and optimization. Vol. 21, Energy. New York: Wiley; 1996. 433-434 p
- [4] Gorji-bandpy M. Exergy , the Potential Work. In: Dr. Juan Carlos Moreno Pirajain, editor. Thermodynamics - Interaction Studies - Solids, Liquids and gases. Iran: InTech; 2011. p. 251-70.
- [5] Kumar, R., Berry A., Kumar M. dan Manchanda H. Energy and Exergy Analysis of a 250 mw Coal Thermal Power Plant at Design Load Conditions. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). 2017. ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor:6.887.
- [6] Aljundi IH. Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan. Appl Therm Eng. 2009;29(February 2009):324-8.
- [7] Hetharia, M. , and Lewerissa, Y.J. Analisis Energi pada Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Uanp (PLTU) dengan Cycle Tempo. Jurnal Voering Vol. 3 No. 1. Juli 2018.