

METODE PENDEKATAN ANALISIS REGRESI UNTUK EFISIENSI ENERGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS (PLTG)

Slamet Hani¹, Prastyono Eko Pambudi², Muhammad Suyanto³ Aditya Kevin Alif Putra⁴

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

e-mail :¹shan.akprind@gmail.com,²prastyono@akprind.ac.id,³musyant@gmail.com,⁴agusguriwa@gmail.com

ABSTRACT

A gas power plant (PLTG) has two main components, namely a gas turbine and an electric generator. The gas turbine converts chemical energy into mechanical energy which is used to drive an electric generator. This plant is started using a Static Frequency Converter (SFC) as the initial drive. PLTG is designed to carry the peak load because it can be loaded up to 10% of the rating. In this research, several experiments were conducted to determine the actual efficiency of the PLTG and optimize the input and output energy using the regression analysis approach method with the help of the scatter graph function in the Microsoft Office Excel 2010 program. Energy optimization using two methods, namely optimizing the rate of oxygen fuel from the air which can increase efficiency of thermal energy and optimization of electrical energy which can increase the efficiency of electrical energy and thermal energy of PLTG from the actual power. The results showed that there were two types of efficiency, namely electrical energy efficiency and thermal energy efficiency. The average electric energy efficiency of PLTG optimized by Mair was 19.47%, with an average thermal energy efficiency of 21.870%. Optimization of the electrical energy generated by the generator can increase the efficiency of PLTG electrical energy with an average electrical energy efficiency of 19.45%, slightly smaller than the optimization of Mair with a difference of 0.02%, with a thermal energy efficiency of 21.874%, slightly greater than Mair's optimization. with a difference of 0.04%.

Key words: aggression, electricity, generator, PLTG

INTISARI

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) memiliki dua komponen utama, yaitu turbin gas dan generator listrik. Turbin gas mengubah energi kimia menjadi energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan generator listrik, pembangkit ini distart menggunakan Static Frequency Converter (SFC) sebagai penggerak awalnya. PLTG didesain untuk memikul beban puncak karena dapat dibebani lebih tinggi 10% dari ratingnya. Dalam penelitian dilakukan beberapa percobaan untuk mengetahui efisiensi aktual PLTG dan mengoptimalkan energi input maupun output dengan menggunakan metode pendekatan analisis regresi dengan bantuan fungsi grafik scatter pada program Microsoft Office Excel 2010. Optimalisasi energi dengan dua metode yaitu optimalisasi laju bahan bakar oksigen dari udara yang mampu meningkatkan efisiensi energi termal dan optimalisasi energi listrik yang mampu meningkatkan efisiensi energi listrik maupun energi termal PLTG dari daya aktualnya. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat dua jenis efisiensi yaitu efisiensi energi listrik dan efisiensi energi termal. Rata-rata efisiensi energi listrik PLTG hasil optimalisasi Mair sebesar 19,47%, dengan rata-rata efisiensi energi termal 21,870%. Optimalisasi energi listrik yang dihasilkan generator mampu meningkatkan efisiensi energi listrik PLTG dengan rata-rata efisiensi energi listrik sebesar 19,45% sedikit lebih kecil dari optimalisasi Mair dengan selisih 00,02%, dengan efisiensi energi termalnya sebesar 21,874% sedikit lebih besar dari optimalisasi Mair dengan selisih 0,04%.

Kata kunci: agres, listrik, pembangkit, PLTG

1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangannya, listrik menjadi kebutuhan utama untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri. Indonesia mulai membangun pembangkit-pembangkit listrik, disamping meningkatkan efisiensi pembangkit-pembangkit yang sudah ada, untuk dapat memenuhi kebutuhan listrik yang meningkat. Pembangkitan listrik di Indonesia dilakukan dengan berbagai cara. Salah satu jenis pembangkit adalah pembangkit listrik tenaga gas (PLTG). Pembangkit ini memiliki dua komponen utama, yaitu turbin gas dan generator listrik. Turbin gas mengubah energi kimia menjadi energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan generator listrik, sehingga listrik dapat dibangkitkan (Fahlevy *et al.*, 2019). Turbin gas menggunakan udara sebagai fluida kerja. Turbin gas memiliki tiga komponen utama, yaitu kompressor, ruang bakar dan turbin. Prinsip kerja dari turbin gas adalah dengan mengikuti proses pada siklus Brayton. Udara bebas dihisap kompressor dan dikompresikan hingga tekanan tinggi. Udara yang terkompresi ini kemudian dimasukkan ke ruang bakar dan dicampur dengan bahan bakar agar temperatur dan tekanannya semakin tinggi. Campuran udara dan bahan bakar ini kemudian diekspansikan ke dalam turbin sehingga turbin bergerak dan menggerakkan generator listrik (Santoso, 2018). Pembangkit listrik di

Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil. Bahan bakar ini suatu saat pasti akan habis, sehingga perlu dilakukan tindakan untuk menghemat penggunaan bahan bakar fosil. Analisis kesetimbangan energi akan memberikan gambaran tentang kesetimbangan penggunaan energi pada mesin turbin gas sehingga penggunaan energi menjadi semakin efisien dan penghematan pun dapat dilakukan (Sundari *et al.*, 2019).

Semua yang dapat menghasilkan panas dapat disebut sebagai sumber energi panas. Energi termal atau energi panas adalah energi internal keseimbangan termodinamika yang sebanding dengan suhu mutlak dan dipindahkan sebagai panas dalam proses termodinamika. Pada tingkat mikroskopis dan dalam kerangka teori kinetik, energi termal merupakan total energi rata-rata ada dalam kinetik sebagai hasil dari gerakan acak dari atom dan molekul, yang menghilangkan nol mutlak. Dalam bahasa yang lebih sederhana, energi thermal atau energi panas muncul akibat adanya gesekan antara atom-atom atau molekul-molekul yang ada (Rahman, 2017).

Energi termal ini merupakan bagian dari energi potensial total dan energi kinetik dari suatu benda atau sampel benda yang menghasilkan suhu sistem. Jumlah energi termal ini sulit untuk ditentukan kecuali benda tersebut telah mencapai suhu melalui pendinginan, dan tidak menjadi sasaran untuk bekerja input atau output, atau energi-perubahan lainnya dalam proses tersebut (Ahmadyaningrat *et al.*, 2005). Energi internal sistem juga sering disebut energi termodinamika, termasuk bentuk lain dari energi dalam suatu sistem termodinamika di samping energi panas, yaitu bentuk energi potensial yang tidak mempengaruhi temperatur, seperti energi kimia yang tersimpan dalam struktur molekul dan elektronik, interaksi antarmolekul terkait dengan perubahan fase yang tidak mempengaruhi suhu (yaitu energi laten) dan energi ikat nuklir yang mengikat sub-atom partikel benda (Afrianto *et al.*, 2015).

Pada PLTG terdapat sumber energi berupa turbin gas, pada turbin gas sumber energinya memakai bahan bakar solar (*High Speed Diesel/HSD*), penggunaan HSD sebagai bahan bakar disebabkan karena kebanyakan pabrik pembuatan turbin mensyaratkan bahan bakar dengan kandungan logam kalium, vanadium, dan natrium tidak boleh melampaui 1 *part per million* (ppm) dan yang mampu memenuhi syarat tersebut itu hanya minyak solar *High Speed Diesel Oil* yang kemudian dikabutkan dan dibakar bersama oksigen. Besarnya efisiensi energi ini merupakan perbandingan antara total kerja turbin gas (W_{gt}) dan jumlah total energi termal turbin gas (q_{gt}) yang dinyatakan dalam persen.

$$\eta_{et} = \frac{W_{gt}}{q_{gt}} \times 100\% \quad (1)$$

dengan:

η_{et} = efisiensi energi termal (%)

W_{gt} = total kerja turbin gas (kJ/s)/(kW)

q_{gt} = total energi termal turbin gas (kJ/s)/(kW)

Efisiensi energy listrik merupakan perbandingan anatara energi listrik yang dibangkitkan oleh generator pusat listrik dengan energi termal yang diinput ke dalam pusat listrik. Dalam hal ini energi yang masuk berupa energi kalor yang terdapat dalam bentuk campuran solar *High Speed Diesel* (HSD) dan oksigen yang telah dibakar. Dan hasil konversi energinya berupa energi mekanis pada turbin, dan kompressor serta energi listrik pada generator. Sehingga, total energi yang tidak mampu diubah oleh turbin gas ($Q_{out.gt}$). Sedangkan, total energi yang masuk ke dalam gas turbin atau ($Q_{in.gt}$) merupakan jumlah energi yang terdapat pada bahan bakar solar *High Speed Diesel* (HSD) yang dikabutkan dan energi yang terdapat pada udara yang dibakar bersama HSD pada ruang bakar turbin gas. Besarnya efisiensi energi listrik dapat dinyatanka dalam persamaan sebagai berikut.

$$\eta_{gt} = 1 - \frac{Q_{out.gt}}{Q_{in.gt}} \times 100\% \quad (2)$$

dengan:

η_{gt} = efisiensi energi listrik gas turbin (%)

$Q_{in.gt}$ = total energi input turbin gas (kJ/kg)

$Q_{out.gt}$ = total energi kalor yang tidak terpakai (kJ/kg).

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah penggabungan antara studi literatur (data sekunder) dan studi lapangan (data primer). Kemudian dilakukan analisis dengan studi perbandingan untuk mendapatkan perbedaan dan perkembangan yang terjadi akan dituangkan ke dalam penulisan.

Analisis data pada penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan nilai efisiensi energi termal maupun efisiensi energi listrik pada pusat listrik khususnya pada PLTG dengan cara mengubah variabel *input* atau variabel *outputnya* dengan massa bahan bakar HSD (*High Speed Diesel*) yang telah di kabutkan menjadi gas sebagai variabel independennya (tetap). Dari hasil analisa tersebut nantinya akan didapatkan nilai efisiensi yang berbeda untuk setiap nilai dari variabel yang diubah, kemudian membandingkan nilai efisiensinya untuk mendapatkan metode terbaik untuk mengoptimalkan penggunaan energi pada PLTG.

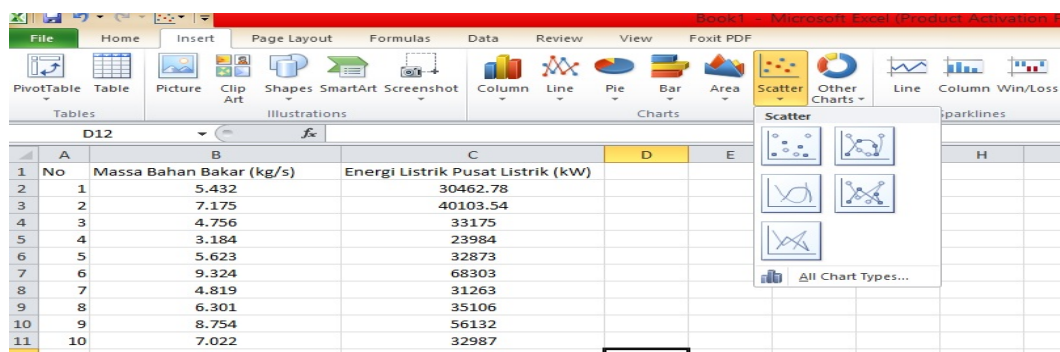
Variabel input pada pusat listrik, khususnya pada turbin gas terdiri atas bahan bakar gas dan bahan bakar oksigen yang berasal dari udara bebas. Bahan bakar gas sudah ditetapkan sebelumnya sebagai variabel tetap, maka variabel tidak tetap yang berasal dari *input* energi pusat listrik adalah bahan bakar oksigen. Sedangkan, variabel tidak tetap dari *output* pusat listrik yang dipilih adalah energi listrik yang dihasilkan oleh pusat listrik.

Analisis data selanjutnya dengan membandingkan efisiensi pusat listrik setelah mengubah nilai kedua variabel tidak tetapnya berdasarkan variabel tetapnya. Sehingga, didapatkan hasil perhitungan efisiensi yang beragam. Berdasarkan analisis tersebut nantinya akan didapatkan nilai efisiensi pusat listrik berdasarkan data *rill* dan nilai efisiensi pusat listrik setelah dilakukan usaha untuk mengoptimalkan efisiensi pusat listrik dengan mengubah nilai dua variabel tidak tetap tersebut (Ahmadyaningrat *et al.*, 2005).

Penggunaan fungsi kuadrat diterapkan untuk menentukan perubahan nilai variabel tidak tetap dalam penelitian ini. Fungsi kuadrat $y = ax^2+2bx+c$ dan fungsi kuadrat lainnya yang relevan digunakan untuk membuat grafik hubungan data antara variabel tetap dengan variabel tidak tetap. Dari grafik tersebut nantinya dapat terlihat hubungan antara keduanya, kemudian grafik tersebut diperhalus dengan menggunakan fungsi kuadrat yang *relevan* terhadap data. Langkah, selanjutnya adalah mencari nilai variabel tidak tetap (*y*) dimana (*y*) adalah energi listrik pusat listrik dengan memasukkan nilai variabel tetapnya (*x*) atau massa bahan bakar, berdasarkan persamaan kuadrat *relevan* yang menggambarkan hubungan antara variabel tetap pusat listrik dan variabel tidak tetap pusat listrik. Untuk mendapatkan hubungan antara massa bahan bakar dengan energi listrik yang dihasilkan pusat listrik digunakan fungsi *scatter-trendline* pada Microsoft Office Excel 2010 pada Gambar 1. Data perbandingan massa bahan bakar yang dihasilkan pusat listrik ditunjukkan pada Tabel 1.

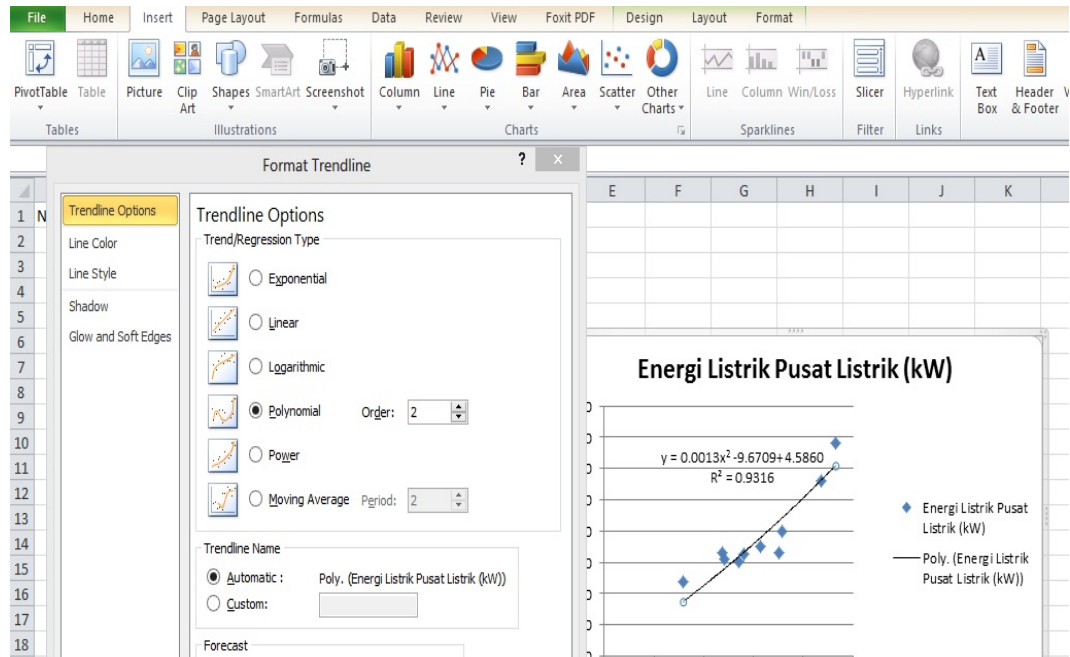
Tabel 1. Data Perbandingan Massa Bahan Bakar yang Dihasilkan Pusat listrik

No	Massa Bahan Bakar (kg/s)	Energi Listrik Pusat Listrik (kW)
1	5.432	30462.78
2	7.175	40103.54
3	4.756	33175
4	3.184	23984
5	5.623	32873
6	9.324	68303
7	4.819	31263
8	6.301	35106
9	8.754	56132
10	7.022	32987



Gambar 1. Letak Fungsi *Scatter* pada Ms.Office Excel 2010

Setelah memilih fungsi *scatter*, maka grafik akan muncul. Dan langkah selanjutnya adalah menggunakan fungsi *trendline* dengan cara klik pada titik–titik biru yang muncul pada grafik kemudian pilih *type* regresi/*trend* yang diinginkan seperti pada Gambar 2.

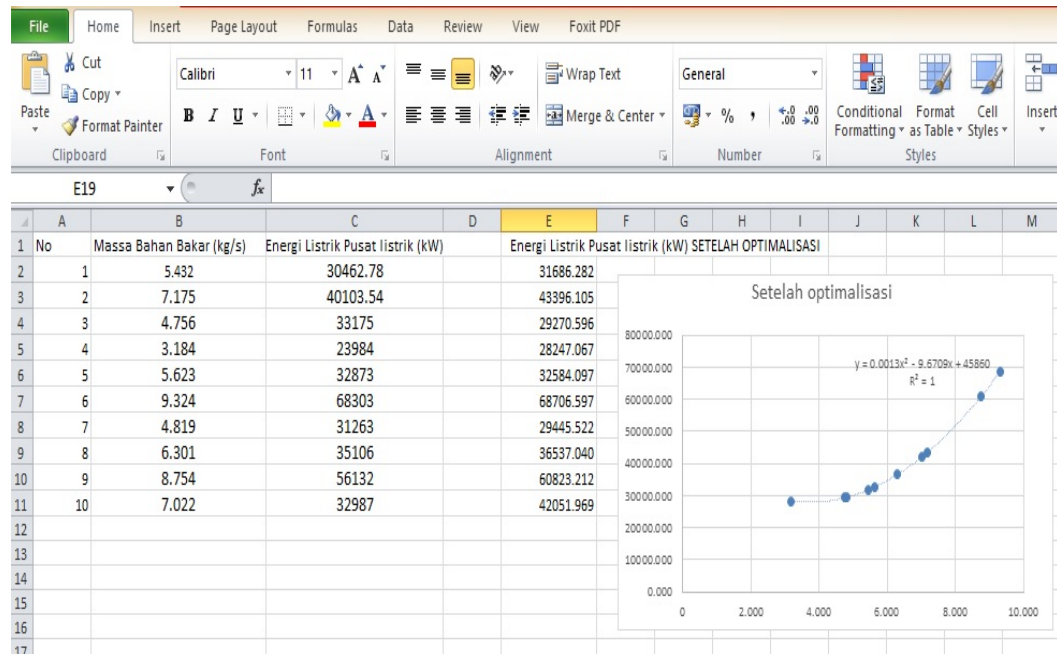


Gambar 2. Opsi Regresi pada Menu *trendline*

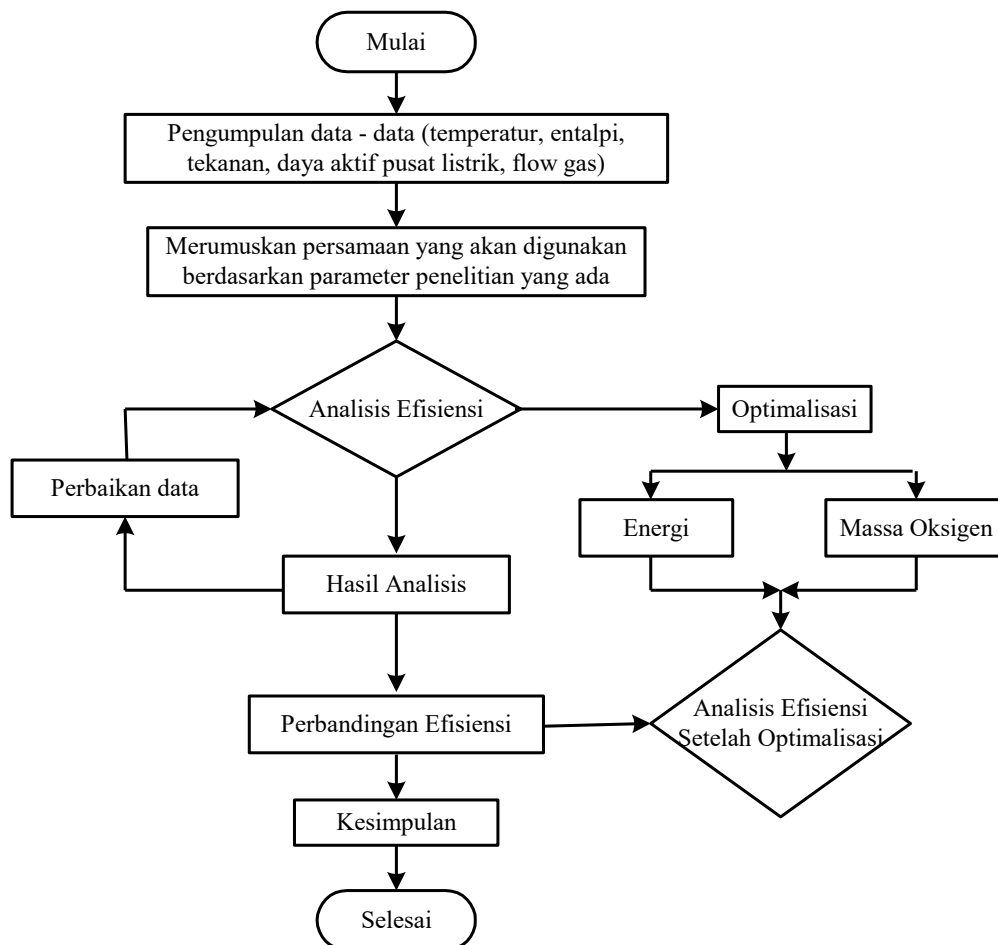
Terdapat 6 tipe regresi yang disediakan oleh fungsi *trendline* ini. Pemilihan type regresi, pemilihan tersebut didasarkan pada nilai determinan (R^2) pada masing-masing *type* regresi. Karena nilai determinan R^2 memiliki *range* antara 0 – 1, maka tipe regresi yang digunakan sebaiknya yang paling mendekati angka 1. Nilai determinan R^2 yang maksimal 1 dan minimum 0 merupakan nilai *error* pada data, semakin nilai determinan mendekati 1 maka data tersebut dapat dikatakan memiliki nilai perbandingan yang sangat baik dan begitu juga sebaliknya jika nilai determinan data mendekati 0, maka data tersebut dapat dikelompokkan sangat buruk.

Pada gambar 2 terlihat bahwa nilai determinan data tersebut adalah sebesar $R^2 = 0.9316$, nilai ini dapat dikategorikan baik namun masih ada kemungkinan data tersebut untuk diperbaiki dan menjadi lebih baik. Nilai determinan 0.9316 menandakan bahwa 93.16% data tersebut baik, sedangkan sisanya 6.9% dapat disebut sebagai *error*. Nilai *error* tersebut diakibatkan oleh adanya data yang tidak memenuhi besaran perbandingan keragaman data secara keseluruhan.

Data pada tabel 1 maupun yang ditunjukkan oleh gambar 1 dan gambar 2 dengan nilai determinan 0.9316 dapat diperbaiki dengan memasukkan nilai x pada fungsi kuadrat seperti yang ditunjukkan pada grafik *trendline* diatas. Fungsi $y = 0,0013x^2 - 9.6709 + 45860$ merupakan fungsi kuadrat untuk data x,y pada tabel 1, dengan x merupakan variabel tetap dari data tersebut. Variabel tetap atau x pada data diatas adalah massa bahan bakar, dan variabel y nya merupakan energi listrik yang dihasilkan oleh pusat listrik. Dengan memasukkan nilai x pada persamaan $y = 0,0013x^2 - 9.6709 + 45860$, maka nilai y yang optimal untuk data tersebut dapat diketahui, seperti pada Gambar 3. Diagram alir proses penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.



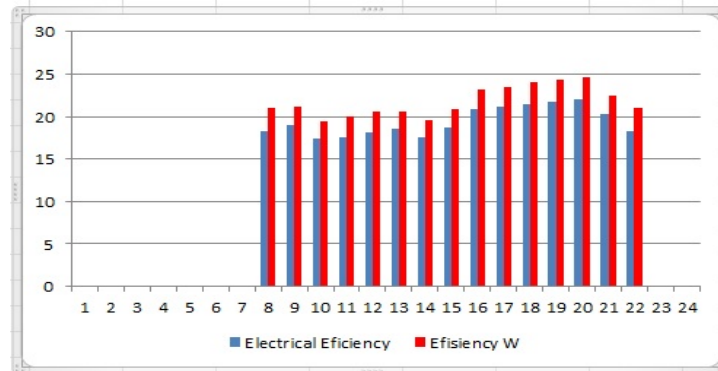
Gambar 3. Grafik Perbandingan data setelah optimalisasi data



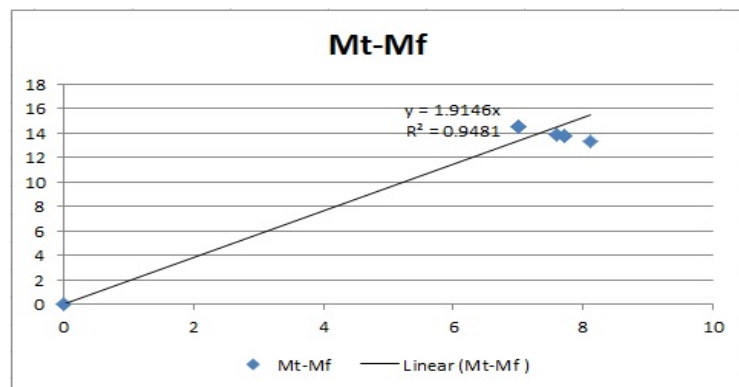
Gambar 4. Diagram Alir Proses Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

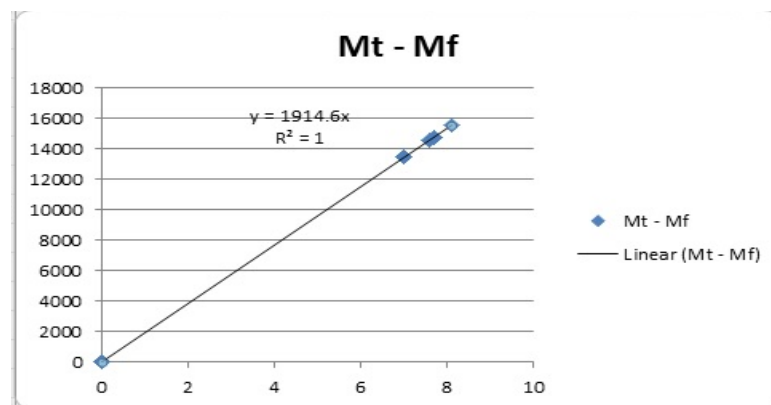
Berikut disajikan beberapa grafik hasil analisa Efisiensi Turbin gas dari grafik efisiensi aktual, Efisiensi Turbin Gas setelah optimalisasi Mair dan Efisiensi Turbin Gas pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10.



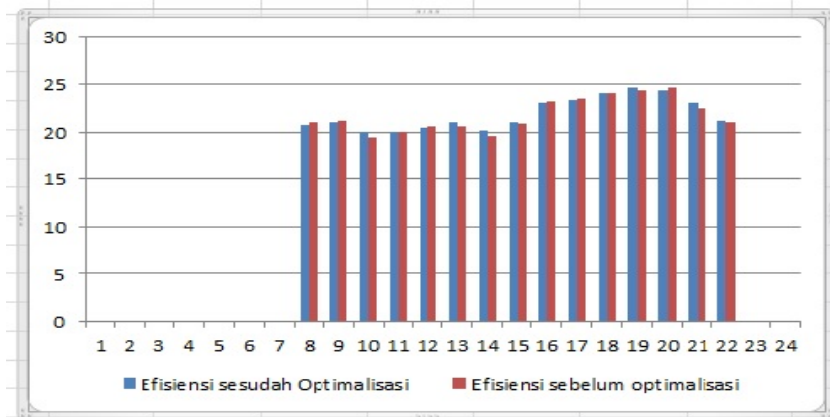
Gambar 5. Perbandingan Efisiensi Energi Termal dan Efisiensi Energi Listrik Turbin Gas



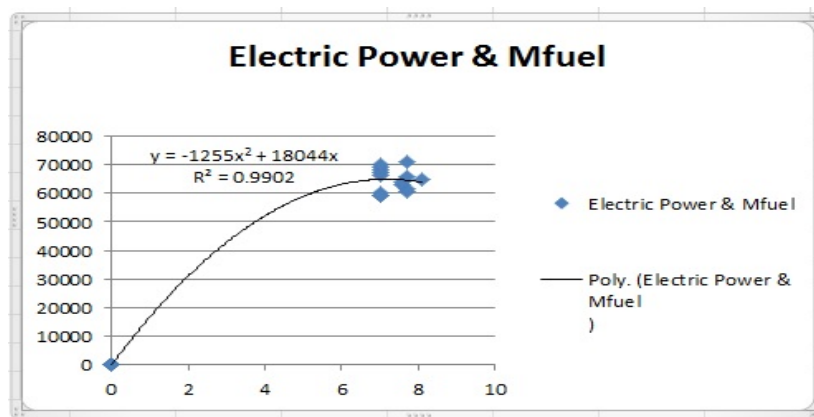
Gambar 6. Grafik Hubungan M_{fuel} dan Mair Turbin Gas dengan Pendekatan Regresi Linier



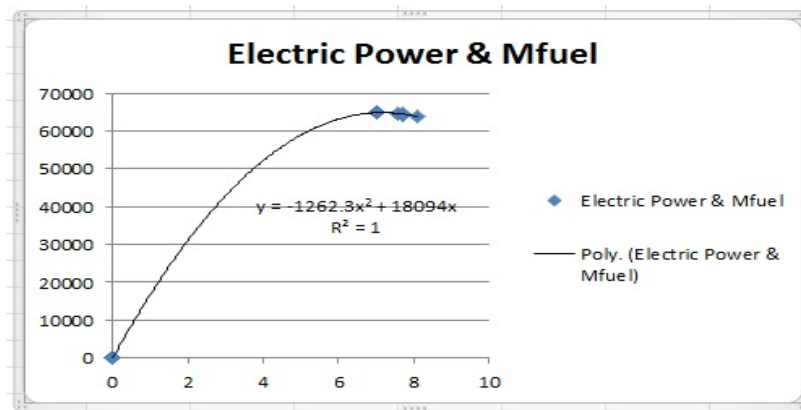
Gambar 7. Grafik Hubungan M_{fuel} dan Mair Setelah Optimalisasi Mair



Gambar 8. Grafik Perbandingan Efisiensi Energi Turbin Gas Sebelum dan Sesudah Optimalisasi Efisiensi Turbin Gas Optimalisasi Energi Listrik



Gambar 9. Grafik Hubungan *Mfuel* & Energi Listrik Generator Sebelum Optimalisasi



Gambar 10. Hubungan *Mfuel* dan Energi Listrik Generator Turbin Gas Setelah Optimalisasi Energi Listrik

Perbandingan hasil analisa efisiensi energi listrik pada turbin gas ditunjukkan pada Tabel 2, sedangkan hasil analisa efisiensi energy termal pada Tabel 3.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Analisa Efisiensi Energi Listrik

No	Efisiensi Energi Listrik (%)		
	Aktual	Optimalisasi Mair	Optimalisasi Energi Listrik
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	18.21	18.58	20.37
9	19.03	19.00	20.40
10	17.45	17.34	18.43
11	17.62	17.61	18.43
12	18.17	18.18	18.75
13	18.50	18.47	18.75
14	17.62	17.60	17.40
15	18.74	18.73	18.51
16	20.84	21.02	20.32
17	21.11	21.20	20.32
18	21.47	21.50	20.40
19	21.78	22.00	20.40
20	22.05	22.08	20.40
21	20.27	20.26	18.43
22	18.21	18.60	20.40
23	0	0	0
24	0	0	0

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisa Efisiensi Energi Termal

No	Efisiensi Energi Termal (%)		
	Aktual	Optimalisasi Mair	Optimalisasi Energi Listrik
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	21.06	20.71	23.00
9	21.22	21.06	23.00
10	19.44	20.04	20.50
11	20.06	20.00	20.58
12	20.60	20.45	21.05
13	20.56	21.03	21.00
14	19.51	20.10	19.27
15	20.80	21.01	20.56
16	23.24	23.06	23.02
17	23.52	23.31	23.00
18	24.02	24.03	23.01
19	24.32	24.60	23.01
20	24.58	24.32	23.00
21	22.46	23.00	21.01
22	21.07	21.12	23.10
23	0	0	0
24	0	0	0

Dari grafik-grafik yang telah disajikan sebelumnya kita dapat melihat beberapa efisiensi energi termal maupun energi listrik baik aktual, setelah optimalisasi *Mair* maupun setelah optimalisasi energi listrik, pembahasan ini akan dibagi menjadi tiga yaitu efisiensi aktual, optimalisasi *Mair*, optimalisasi energi listrik dan perbandingan efisiensi sebelum maupun setelah optimalisasi. Efisiensi Aktual pada Gambar 5, terlihat jelas bahwa efisiensi termal (merah) lebih tinggi/lebih besar dari efisiensi energi listriknya. Ini berarti bahan bakar yang dibutuhkan untuk membangkitkan energi listrik lebih besar jumlahnya daripada energi listrik yang dibangkitkan. Efisiensi optimalisasi *Mair* Gambar 6, grafik Hubungan M_{fuel} dan *Mair* Turbin Gas dengan Pendekatan Regresi Linier, dimana nilai determinan $R^2 = 0,9481$ atau 94,81% dengan nilai *error* 5,19 % dan gambar grafik Q_{in} dengan nilai determinan $R^2 = 0,9935$ atau 99,35 % dengan nilai *error* hanya 0,65% Setelah dilakukan optimalisasi *Mair* ditunjukkan pada Gambar 7, Setelah Optimalisasi *Mair* nilai determinan berubah menjadi 1 atau 100% . Pada grafik sesudah optimalisasi (biru) dan sebelum optimalisasi (merah) energi termal terlihat beberapa data menunjukkan penurunan maupun peningkatan energi termal pada gambar grafik 8. Efisiensi energi listrik pada gambar 9, memperlihatkan hubungan M_{fuel} dan energi listrik generator dengan nilai determinan 0,9902 atau 99% dan setelah optimalisasi energi listrik diperoleh nilai determinan 1 atau 100 %

yang ditunjukkan pada Gambar 10. Hasil perbandingan analisa energi termal PLTG pada menunjukkan bahwa setelah optimalisasi dilakukan terjadi peningkatan efisiensi energi termal meskipun peningkatan tidak seluruhnya karena sebagian data juga mengalami penurunan efisiensi. Meskipun demikian tetap terjadi peningkatan positif pada setiap optimalisasi yang dilakukan.

4. KESIMPULAN

- a. Efisiensi energi termal PLTG selalu lebih besar dibandingkan efisiensi energi listriknya. Hal bisa terjadi karena perhitungan efisiensi energi termal meliputi seluruh komponen kerja pada PLTG seperti pada turbin gas, kompresor turbin gas dan generator. Sementara perhitungan efisiensi energi listrik menjadi satu-satunya energi yang dihasilkan oleh pembangkit dan sisanya sebagai rugi-rugi. Rata-rata efisiensi aktual energi termal PLTG Gilimanuk adalah 21,764 % dan rata-rata efisiensi aktual energi listriknya adalah 19,40 %, sangat sulit untuk mencapai efisiensi 50% ke-atas baik efisiensi energi termal maupun efisiensi energi listrik karena banyaknya energi sisa yang tidak dimanfaatkan kembali dalam bentuk rugi-rugi panas dan rugi-rugi lainnya.
- b. Optimalisasi laju bahan bakar oksigen (*Mair*) pada masing-masing bagian PLTG maupun PLTG secara keseluruhan mampu meningkatkan efisiensi energi termal pembangkit, rata-rata efisiensi energi termal PLTG hasil optimalisasi *Mair* sebesar 21,870%, dengan rata-rata efisiensi energi listrik 19,47% sedikit lebih besar dari rata-rata nilai aktualnya.
- c. Optimalisasi energi listrik memiliki karakteristik yang berbeda dibanding optimalisasi *Mair*. Optimalisasi energi listrik dilakukan dengan perbandingan komposisi bahan bakar gas dengan energi listrik, optimalisasi energi listrik hanya meningkatkan energi listrik yang dihasilkan generator tanpa ada perubahan nilai pada komponen-komponen lainnya. Optimalisasi energi listrik yang dihasilkan generator mampu meningkatkan efisiensi energi listrik PLTG dengan rata-rata efisiensi energi listrik sebesar 19,45% sedikit lebih kecil dari optimalisasi *Mair* dengan selisih 0,02%, dengan efisiensi energi termalnya sebesar 21,874% sedikit lebih besar dari optimalisasi *Mair* dengan selisih 0,04%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada LPPM Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta, sehingga bisa terselesaikan penelitian dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afianto, Y., Utomo, M., Kiono, B. (2015). Analisa efisiensi energi pada HRSG (Heat Recovery Steam Generator) Di PLTGU. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(4), 382–388.
- Ahmadyaningrat, A., Ekayuliana, A., Studi, P., Tenaga, P., Mesin, J. T., & Jakarta, P. N. (2005). *Optimasi efisiensi pltg pada kondisi keterbatasan bahan bakar*. 423–431.
- Fahlevy, M. R., Mardiansah, D., Jannus, P. (2019). *Analisa Performa PLTGU Kapasitas 740 MW Terhadap Pola Operasi Dan Pembebanan Menggunakan Heat Rate Gap Analysis*. 1199–1207.
- Rahman, M. R. F. (2017). Analisis Kerugian Energi Sistem Turbin Gas Di Pltgu Blok Iii Pt . X. *Institut Teknologi & Sains Nasional*, 13, 171–178.
- Santoso, H. (2018). Optimalisasi untuk Menghasilkan Efisiensi Ideal Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Kapasitas 20 MW. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*, 3(2), 181. <https://doi.org/10.30998/string.v3i2.3044>
- Sundari, P., Rudiyanto, B., Hariyono, B. (2019). Kajian Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Gas (Studi Kasus di PT. Indonesia Power Up Perak-Grati). *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 17(3), 81–88. <https://doi.org/10.29122/jsti.v17i3.3435>