

## **ANALISIS PERHITUNGAN EFISIENSI HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR (HRSG) TIPE VERTIKAL TEKANAN GANDA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS UAP (PLTGU)**

**Yusuf Dewantoro Herlambang, Supriyo, Teguh Aji Wibowo**

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang, 50275  
\*E-mail: [masyusufdh@yahoo.com](mailto:masyusufdh@yahoo.com)

### **Abstrak**

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) merupakan generator uap yang memanfaatkan energi panas gas buang turbin gas untuk memanaskan air sehingga berubah fasa menjadi uap, uap tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Meninjau pentingnya HRSG dalam sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU), maka diharapkan efisiensi HRSG selalu dalam kondisi terbaiknya. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa efisiensi HRSG dalam sebuah PLTGU, sehingga diperoleh penyebab didapaknya nilai efisiensi, serta membandingkan kondisinya ketika dalam keadaan setelah overhaul dan sebelum overhaul. Efisiensi HRSG didapat dari perbandingan manfaat kalor keluar HRSG dan kalor gas buang masuk HRSG, sehingga didapat bahwa efisiensi HRSG setelah overhaul adalah 79,76% sedangkan efisiensi sebelum overhaul adalah 78,36%, hal ini dapat terjadi karena meningkatnya kualitas dari parameter-parameter yang dibutuhkan, yaitu meliputi: suhu air umpan, aliran massa gas buang, kemampuan menerima beban dan aliran massa uap yang dihasilkan.

**Kata Kunci:** Efisiensi, HRSG, Overhaul, Kalor, Suhu air umpan, Massa gas buang, Massa uap, Beban.

## **PENDAHULUAN**

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang ada di Indonesia, dimana pembangkit listrik ini merupakan kombinasi dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap, perbedaannya terletak pada digunakannya Heat Recovery Steam Generator sebagai generator uap menggantikan fungsi boiler dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap.

Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap yang tinggi dapat dicapai apabila komponen-komponen Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap beroperasi dengan optimal. Salah satu komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap yang harus bekerja dengan optimal adalah Heat Recovery Steam Generator.

Heat Recovery Steam Generator merupakan generator uap yang memiliki bentuk seperti pipa-pipa yang dilalukan dalam sebuah aliran gas buang dari sebuah sistem PLTG ,

Analisis Perhitungan Efisiensi Heat Recovery Steam Generator..... Yusuf, dkk dimana pipa-pipa tersebut berisi air yang akan dirubah menjadi uap, yang selanjutnya uap tersebut dipergunakan sebagai penggerak turbin uap. Heat Recovery Steam Generator sangat bermanfaat untuk meningkatkan penggunaan gas buang yang bersumber dari unit turbin gas untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai penggerak turbin uap.

Melihat pentingnya peran Heat Recovery Steam Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap, maka diharapkan efisiensi Heat Recovery Steam Generator selalu dalam keadaan optimal. Oleh karena itu penulis mengambil judul “Analisa Perhitungan Efisiensi Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Tipe Vertikal Tekanan Ganda Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)” untuk mengetahui efisiesnsi Heat Recovery Steam Generator dan menganalisa faktor yang mempengaruhinya.

## **METODE PENELITIAN**

Metode yang dipakai dalam perhitungan efisiensi adalah sebagai berikut:

### **a. Studi kasus**

Dalam penentuan topik studi kasus untuk tugas akhir ini diperoleh dengan melakukan observasi selama kegiatan praktek kerja lapangan serta pendalaman materi melalui studi literatur. Materi yang diperoleh berasal dari jurnal-jurnal, buku-buku serta refrensi lain yang berkaitan dengan materi, selain itu, dilakukan bimbingan dengan dosen pembimbing serta menthor.

### **b. Pengumpulan data**

Data yang diambil merupakan data operasi HRSG BLOK1 PT PJB UP Gresik, pada bulan Juli dan Agustus, dimana pada bulan Juli HRSG mengalami overhaul.

### **c. Perhitungan**

Metode perhitungan yang digunakan adalah metode perhitungan efisiensi secara langsung, dimana menggunakan persamaan  $\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$ . Efiseiensi yang dihitung adalah efisiensi setelah dan sebelum dilakukannya overhaul

### **d. Analisa data**

Setelah dilakukan perhitungan efisiensi, selanjutnya dilakukan analisa dengan cara perbandingan nilai efisiensi setelah dan sebelum dilakukannya overhaul, serta menganalisa parameter pembentuknya.

Analisis Perhitungan Efisiensi Heat Recovery Steam Generator..... Yusuf, dkk  
**Perhitungan Efisiensi Hrsg**

Perhitungan yang dilakukan merupakan data sampel pada HRSG 1.1 dalam kondisi beban 50 MW

**Perhitungan  $Q_{out}$  setelah overhaul**

Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan pada sampel, yang mewakili cara perhitungan  $Q_{out}$  untuk semua nilai beban, yaitu sampel beban rendah 50 MW untuk HRSG 1.1 yang memiliki nilai parameter sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter HRSG beban rendah setelah overhaul untuk perhitungan

Beban (MW)	$\dot{m}_{s_2}$ (T/h)	$\dot{m}_{f_2}$ (T/h)	$P_{s_2}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$T_{s_2}$ (°C)	$T_{f_2}$ (°C)
50.5	121	97.2	44	450	256

$\dot{m}_{s_1}$ (T/h)	$\dot{m}_{f_1}$ (T/h)	$P_{s_1}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$T_{s_1}$ (°C)	$T_{f_1}$ (°C)
39	40.5	5.3	160	176

Sehingga besaran yang harus dicari terlebih dahulu adalah enthalpi untuk masing-masing kondisi dan sisi, yaitu sebagai berikut:

$$h_{s_1} = 3326,6\text{kJ/kg}$$

$$h_{f_1} = 1114,6\text{kJ/kg}$$

$$h_{s_2} = 2765,8\text{kJ/kg}$$

$$h_{f_2} = 743,4\text{kJ/kg}$$

Dengan didapatkannya nilai enthalpi, maka  $Q_{out}$  dapat dihitung:

$$Q_{out} = (\dot{m}_{s_1} \times h_{s_1} - \dot{m}_{f_1} \times h_{f_1}) + (\dot{m}_{s_2} \times h_{s_2} - \dot{m}_{f_2} \times h_{f_2})$$

$$Q_{out} = (121000 \times 3326,6 - 97200 \times 1114,6) + (39000 \times 2765,8 - 40500 \times 743,4)$$

$$Q_{out} = 371937980\text{kJ/h}$$

**3.2 Perhitungan  $Q_{out}$  sebelum overhaul**

Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan pada sampel, yang mewakili cara perhitungan  $Q_{out}$  untuk semua nilai beban, yaitu sampel beban rendah 50 MW untuk HRSG 1.1 yang memiliki nilai parameter sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter HRSG beban rendah sebelum overhaul

Beban (MW)	$\dot{m}_{s2}$ (T/h)	$\dot{m}_{f2}$ (T/h)	$P_{s2}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$T_{s2}$ (°C)	$T_{f2}$ (°C)
50	116	109.5	59.7	464	277

$\dot{m}_{s1}$ (T/h)	$\dot{m}_{f1}$ (T/h)	$P_{s1}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$T_{s1}$ (°C)	$T_{f1}$ (°C)
33	42.7	5.3	159	165

Sehingga besaran yang harus dicari terlebih dahulu adalah enthalpi untuk masing-masing kondisi dan sisi, yaitu sebagai berikut:

$$h_{s1} = 3338,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f1} = 1220,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{s2} = 2763,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f2} = 697,3 \text{ kJ/kg}$$

Dengan didapatkannya nilai enthalpi, maka  $Q_{out}$  dapat dihitung:

$$Q_{out} = (\dot{m}_{s1} \times h_{s1} - \dot{m}_{f1} \times h_{f1})$$

$$+ (\dot{m}_{s2} \times h_{s2} - \dot{m}_{f2} \times h_{f2})$$

$$Q_{out} = (116000 \times 3338,7 - 109500 \times 1220,4)$$

$$+ (33000 \times 2763,4 - 42700 \times 697,3)$$

$$Q_{out} = 315072890 \text{ kJ/h}$$

### 3.3 perhitungan $Q_{in}$ setelah overhaul

Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan pada sampel, yang mewakili cara perhitungan  $Q_{in}$  untuk semua nilai beban, yaitu sampel beban rendah 50 MW untuk HRSG

1.1 yang memiliki nilai parameter sebagai berikut:

Tabel 3. Parameter HRSG beban rendah setelah overhaul

Beban (MW)	$T_i$ (°C)	$T_o$ (°C)
50.5	457	121.9

Karena tidak adanya alat ukur gas buang yang mengalir dalam HRSG, maka gas buang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\dot{m}_{gb} = \frac{\left(\frac{Q_{tot}}{0,997}\right)}{(T_i \times c_i - T_o \times c_o)}$$

$$\dot{m}_{gb} = \frac{\left(\frac{371937980}{0,997}\right)}{(457 \times 1,089 - 121,9 \times 1,089)}$$

$$\dot{m}_{gb} = 1022287,527 \text{ kg/h}$$

Setelah nilai  $\dot{m}_{gb}$  diketahui, maka nilai  $Q_{in}$  dapat dihitung

$$Q_{in} = \dot{m}_{gb} \times (c_i \times T_i - c_o \times T_o)$$

$$Q_{in} = 1022287,527 \times (1,089 \times 457 - 1,047 \times 31)$$

$$Q_{in} = 475584514,4 \text{ kJ/h}$$

### 3.4 perhitungan $Q_{in}$ setelah overhaul

Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan pada sampel, yang mewakili cara perhitungan  $Q_{in}$  untuk semua nilai beban, yaitu sampel beban rendah 50 MW untuk HRSG

1.1 yang memiliki nilai parameter sebagai berikut:

Tabel 4. Parameter HRSG beban rendah setelah overhaul

Beban (MW)	$T_i$ (°C)	$T_o$ (°C)
50	472	127

Karena tidak adanya alat ukur gas buang yang mengalir dalam HRSG, maka gas buang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\dot{m}_{gb} = \frac{\left(\frac{Q_{tot}}{0,997}\right)}{(T_i \times c_i - T_o \times c_o)}$$

$$\dot{m}_{gb} = \frac{\left(\frac{315072890}{0,997}\right)}{(472 \times 1,089 - 127 \times 1,089)}$$

$$\dot{m}_{gb} = 883468,089 \text{ kg/h}$$

Setelah nilai  $\dot{m}_{gb}$  diketahui, maka nilai  $Q_{in}$  dapat dihitung

$$Q_{in} = \dot{m}_{gb} \times (c_i \times T_i - c_o \times T_o)$$

$$Q_{in} = 883468,089 \times (1,089 \times 472 - 1,047 \times 31)$$

$$Q_{in} = 425434941,9 \text{ kJ/h}$$

### 3.5 Perhitungan efisiensi HRSG setelah overhaul

Efisiensi HRSG dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{371937980}{475584514,4} \times 100\%$$

$$\eta = 78,21\%$$

### 3.6 Perhitungan efisiensi sebelum overhaul

Efisiensi HRSG dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

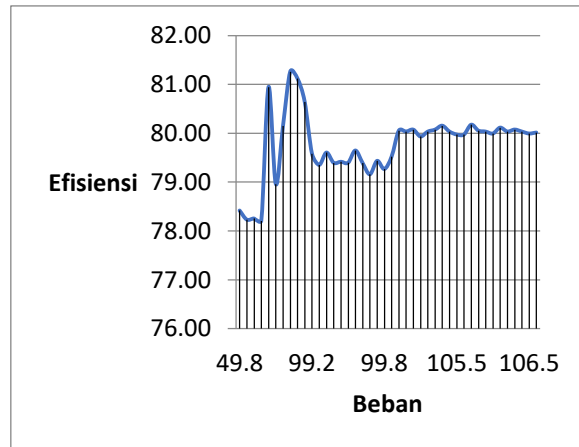
$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{315072890}{425434941,9} \times 100\%$$

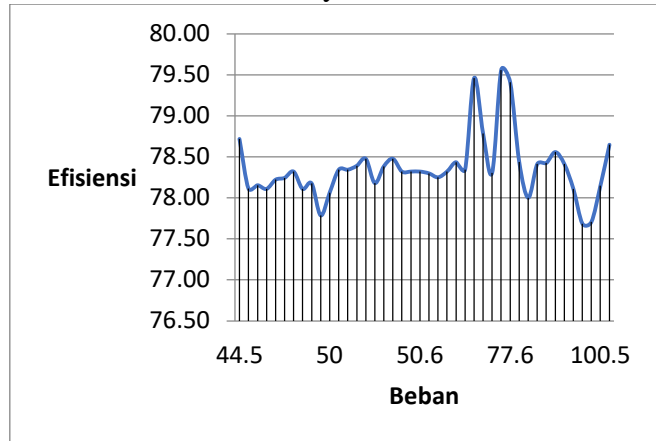
$$\eta = 74,06\%$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perhitungan maka didapat hasil yang telah ditabelkan sebagaimana di atas, tetapi agar memudahkan analisa maka hasil perhitungan dibuat grafik menjadi seperti berikut:

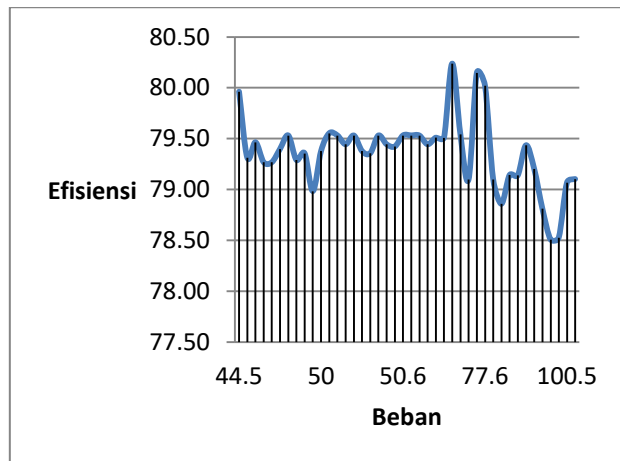


(a)

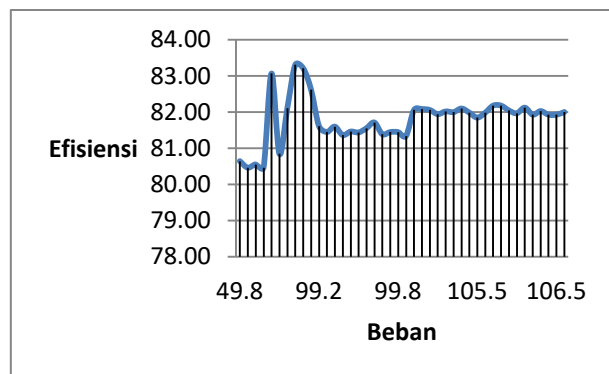


(b)

**Gambar 1. Grafik hubungan efisiensi terhadap beban pada HRSG 1.1 setelah overhaul (a) dan sebelum overhaul (b)**

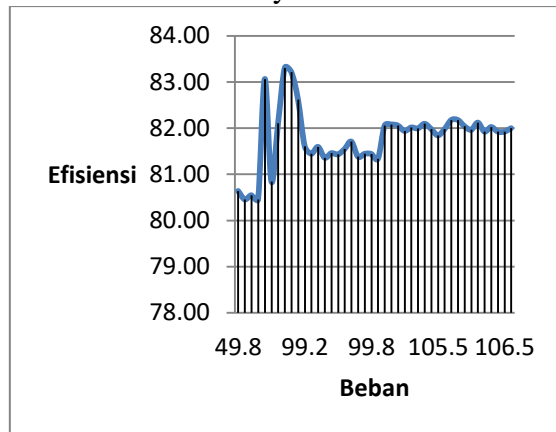


(a)

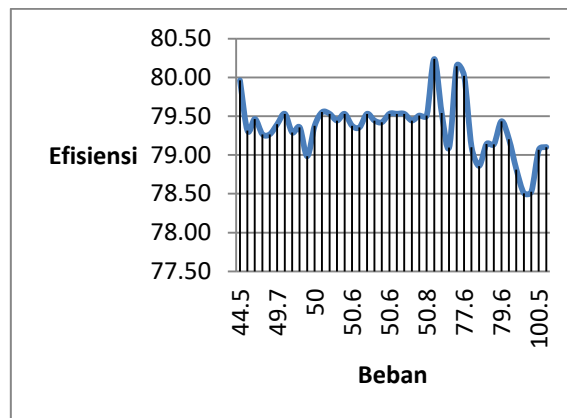


(b)

**Gambar 2. Grafik hubungan efisiensi terhadap beban pada HRSG 1.2 setelah overhaul (a) dan sebelum overhaul (b)**



(a)



(b)

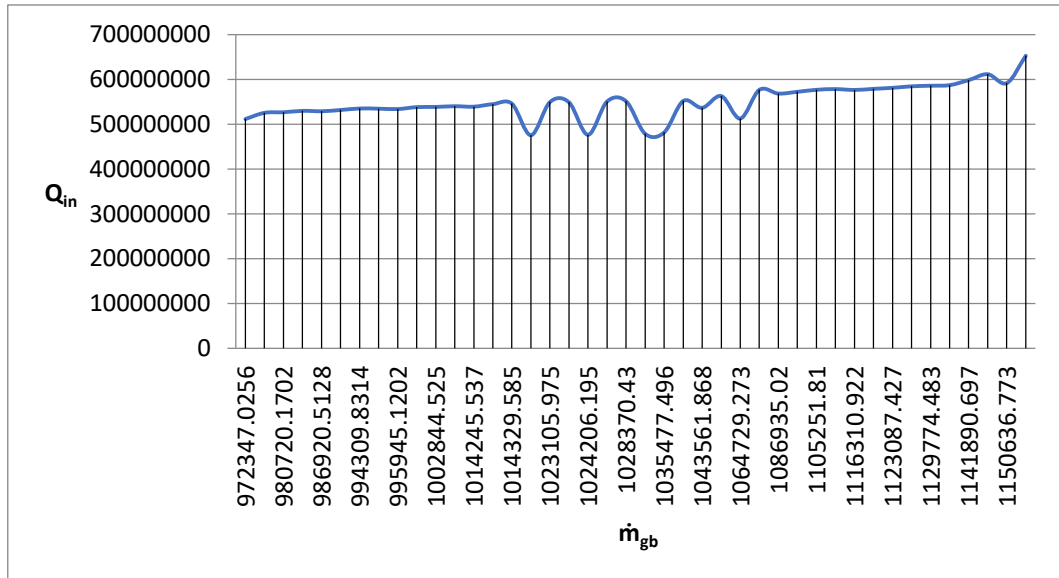
**Gambar 3. Grafik hubungan efisiensi terhadap beban pada HRSG 1.3 setelah overhaul (a) dan sebelum overhaul (b)**

Setelah diketahui hasil grafik seperti diatas maka dapat dianalisa efisiensi sebelum dan setelah overhaul serta apa saja penyebabnya. Dilihat dari grafik yang terbentuk dapat diketahui bahwa pada satu sisitem PLTGU, HRSG memiliki karakterisitik yang relatif sama. Sebelum dilakukan overhaul, HRSG hanya mampu beroperasi pada beban rendah dan menengahnya yaitu dari 50MW sampai 100MW, sedangkan setelah overhaul HRSG mampu bekerja samapi dengan beban tinggi yaitu 110MW, hal ini dapat terjadi karena adanya perubahan parameter-parameter ketika sebelum dan setelah dilakukannya overhaul, oleh karena itu dilakukan analisa hubungan anatar parameter yang diduga sebagai penyebab perubahan tersebut yang meliputi, massa gas buang masuk HRSG terhadap  $Q_{in}$  dan efisiensi, suhu air umpan masuk HRSG terhadap  $Q_{out}$  dan efisiensi, rentang pemebebanan terhadap efisiensi dan jumlah uap hasil terhadap  $Q_{out}$  dan efisiensi. Yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

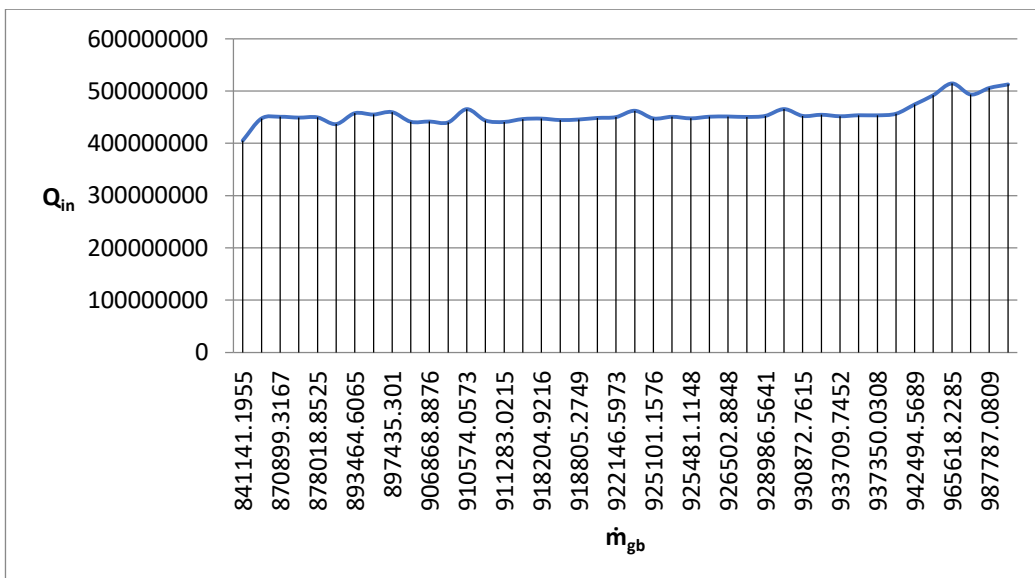


**a. Hubungan massa gas buang terhadap  $Q_{in}$**

Ditinjau dari karkteristik beban terhadap efisiensi yang relati sama untuk masing-masing HRSG, maka hubungan massa gas buang terhadap  $Q_{in}$  untuk masing-masing HRSG dapat diasumsikan sama, oleh karena itu analisa dilakukan pada sampel, yaitu HRSG 1.1 sehingga didapat grafik sebagai berikut:



**Gambar 4. Grafik hubungan  $\dot{m}_{gb}$  terhadap  $Q_{in}$  pada HRSG 1.1 setelah overhaul**



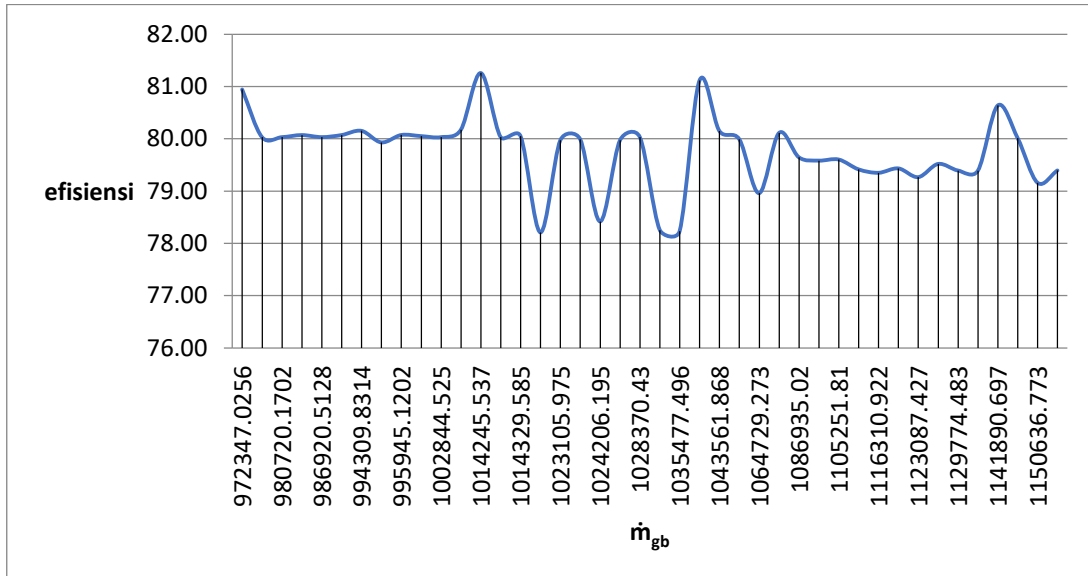
**Gambar 5. Grafik hubungan  $\dot{m}_{gb}$  terhadap  $Q_{in}$  pada HRSG 1.1 sebelum overhaul**

Setelah terbentuk grafik, maka didapat bahwa jumlah massa gas buang yang masuk setelah overhaul dan sebelum overhaul memiliki selisih sebesar 129603,5754kg/h, hal ini mengindikasikan bahwa setelah dilakukan overhaul maka HRSG mampu beroperasi pada beban tingginya. Karena semakin tinggi beban maka jumlah massa

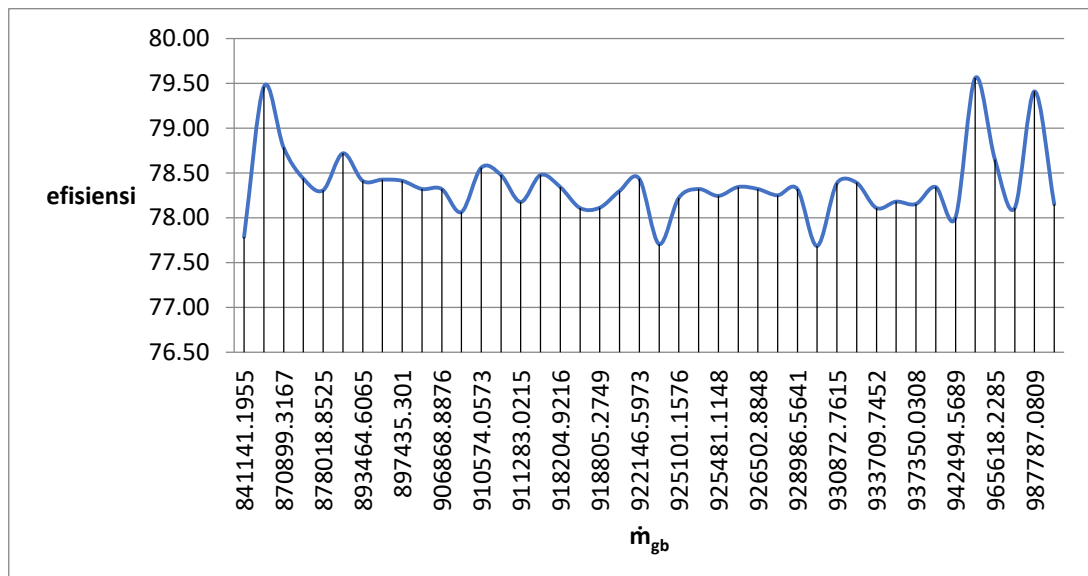
Analisis Perhitungan Efisiensi Heat Recovery Steam Generator..... Yusuf, dkk  
 gas buang yang dibutuhkan akan meningkat, karena hubungan  $Q_{in}$  terhadap massa  
 gas buang Adela berbanding lurus maka sewajarnya nilai  $Q_{in}$  akan meningkat,  
 dalam hal ini jika didasarkan pada selisih massa gas buang maka akan didapat  $Q_{in}$   
 sebesar 59305688,9W.

**b. Hubungan nassa gas buang masuk HRSG terhadap efisiensi**

Hubungan antara massa gas buang dan efisiensi pada smpel HRSG 1.1 dapat dibuat  
 grafik sebagai berikut:



**Gambar 6. Grafik hubungan  $\dot{m}_{gb}$  terhadap efisiensi pada HRSG 1.1 setelah overhaul**

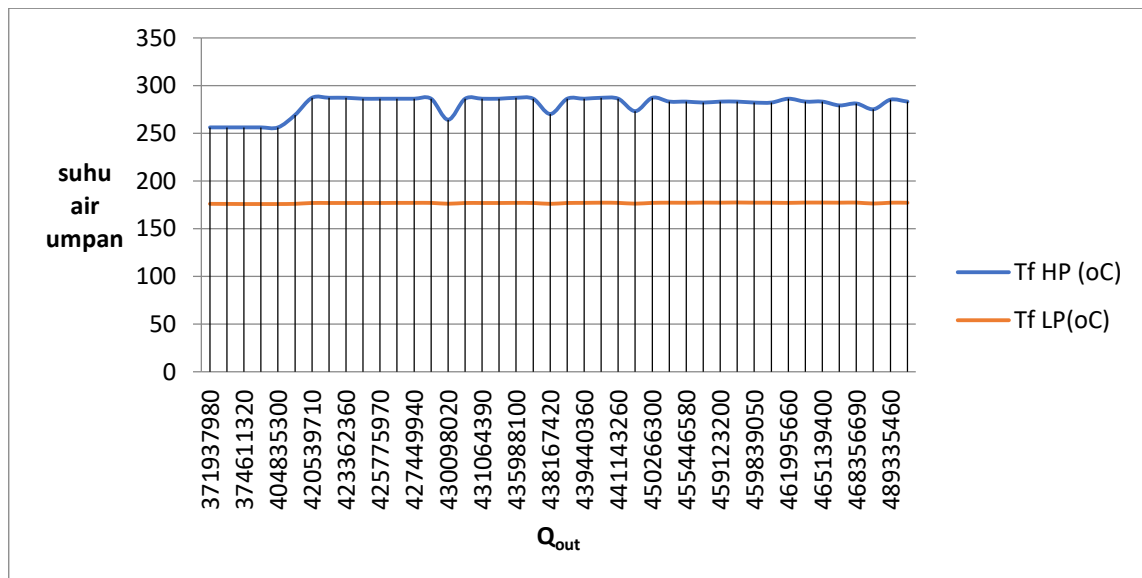


**Gambar 7. Grafik hubungan  $\dot{m}_{gb}$  terhadap efisiensi pada HRSG 1.1 sebelum overhaul**

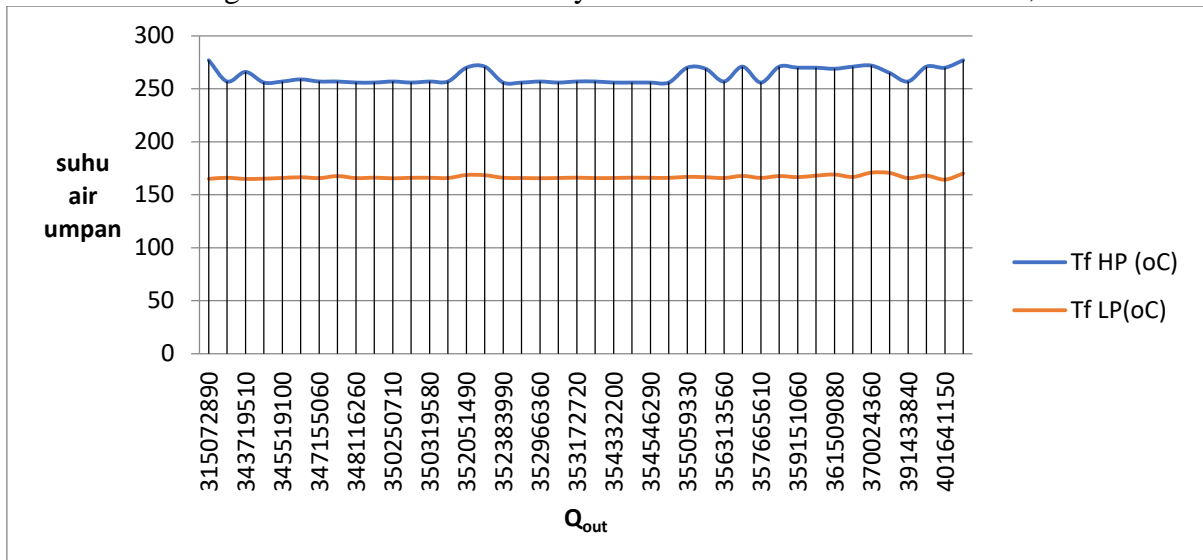
Jika dilihat dari grafik, dapat diperoleh bahwa selisih massa gas buang yang telah diperoleh diperoleh mampu memeberikan kenaikan efisiensi. Hal ini dapat dilihat pada pemasukan massa gas buang 970000kg/h sampai 990000kg/h sebelum dilakukan overhaul menghasilkan efisiensi 78,56% sedangkan setelah dilakukan overhaul menghasilkan efisiensi 80,19%, dari sini kita peroleh bahwa pada masukan gas buang yang relatif sama, setelah dilakukan overhaul memiliki efisiensi yang lebih besar.

**c. Hubungan suhu air umpan masuk HRSG terhadap  $Q_{out}$**

Hubungan suhu air umpan masuk HRSG terhadap  $Q_{out}$  dapat dilihat seperti grafik grafik dibawah ini:



**Gambar 8. Grafik hubungan suhu air umpan terhadap  $Q_{out}$  pada HRSG 1.1 setelah overhaul**

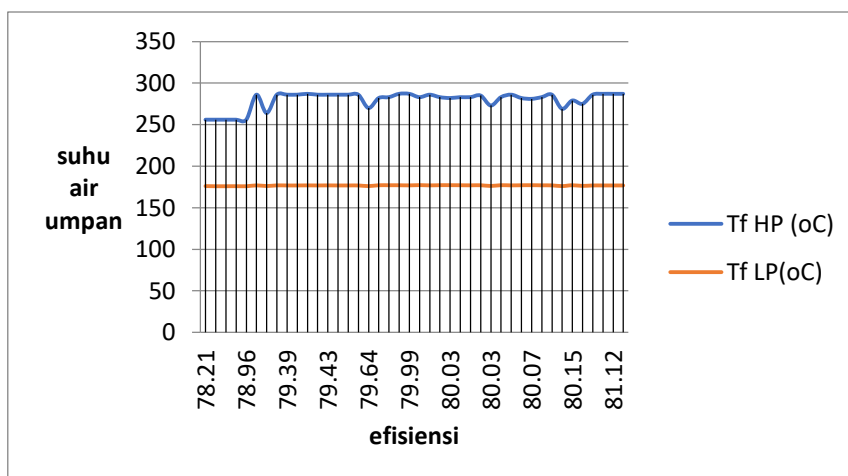


**Gambar 9. Grafik hubungan suhu air umpan terhadap  $Q_{out}$  pada HRSG 1.1 sebelum overhaul**

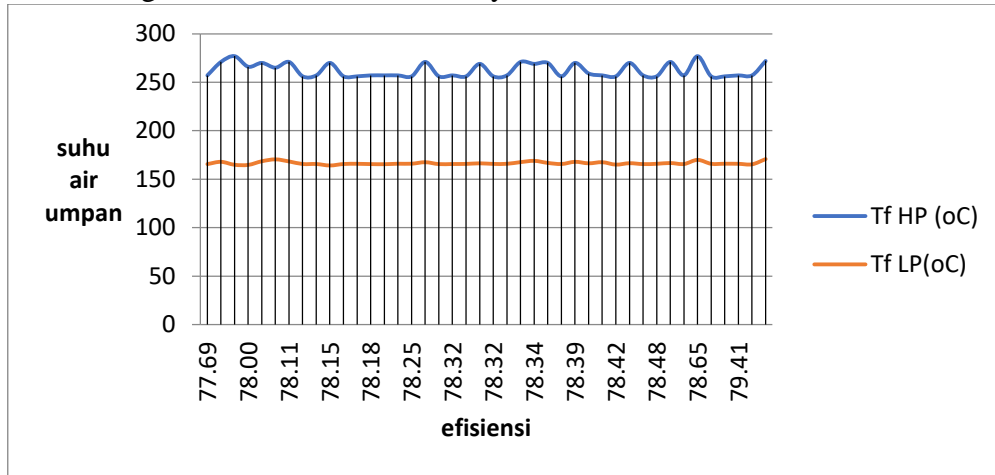
Dari kedua grafik dapat dilihat bahwa  $Q_{out}$  yang dihasilkan setelah dan sebelum overhaul berbeda nilai, hal ini dikarenakan adanya selisih dari suhu air umpan ketika setelah dan sebelum dilakukan overhaul, dengan selisih  $8,6^{\circ}\text{C}$  dan  $5^{\circ}\text{C}$  untuk sisi tekanan trendah dan sisi tekanan tingginya, kenaikan ini berdampak pada semakin mudahnya air berubah fasa menjadi uap selama proses penguapan, hal ini berdampak pada nilai enthalpi yang lebih besar.

**d. Hubungan suhu air umpan masuk HRSG terhadap efisiensi**

Hubungan suhu air umpan masuk HRSG terhadap efisiensi dapat dilihat pada grafik:



**Gambar 10. Grafik hubungan suhu air umpan terhadap efisiensi pada HRSG 1.1 setelah overhaul**

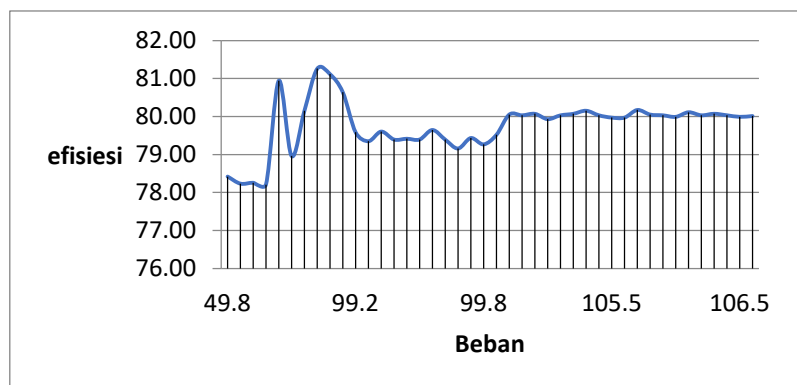


**Gambar 11. Grafik hubungan suhu air umpan terhadap efisiensi pada HRSG 1.1 sebelum overhaul**

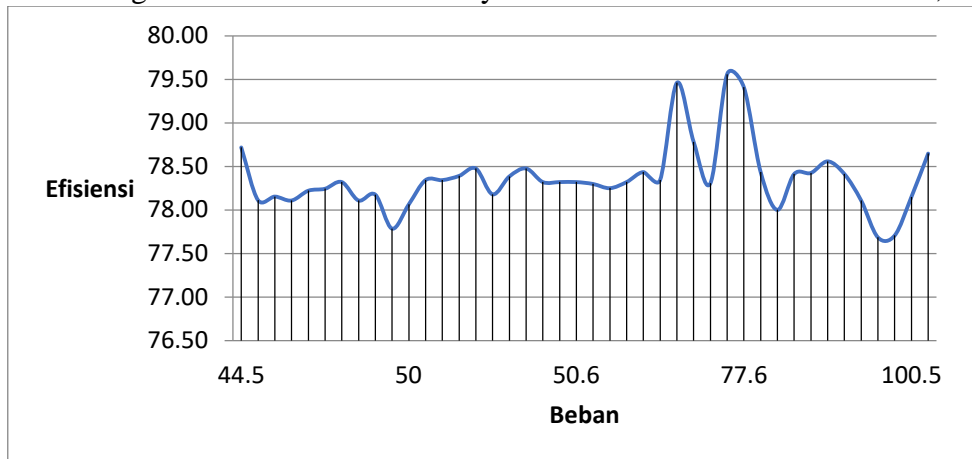
Hubungan suhu air umpan terhadap efisiensi terletak pada dihasilkannya nilai  $Q_{out}$ , selain itu, menaikkan suhu air umpan merupakan wujud pengaplikasian memperkecil rugi-rugi HRSG yang berasal dari massa gas buang yang melalui HRSG, dimana suhu masa gas buang yang terbuang ke lingkungan harus dibuat sekecil mungkin, sehingga seluruh energi yang berasal dari massa gas buang dapat dimanfaatkan dengan seefisien mungkin, dampaknya  $Q_{in}$  yang diterima dan  $Q_{out}$  yang dihasilkan HRSG lebih tinggi sehingga efisiensi lebih tinggi.

**e. Hubungan rentang pembebanan terhadap efisiensi**

Hubungan rentang pembebanan HRSG terhadap efisiensi dapat dilihat pada grafik sebagai berikut:



**Gambar 12. Grafik hubungan rentang pembebanan terhadap efisiensi pada HRSG 1.1 setelah overhaul**

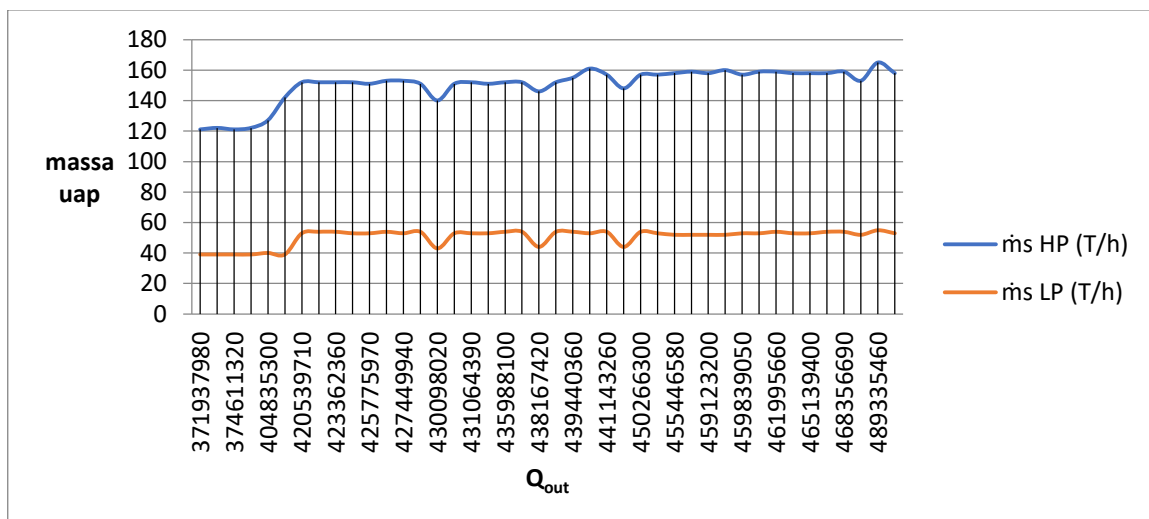


**Gambar 13. Grafik hubungan rentang pembebanan terhadap efisiensi pada HRSG 1.1 sebelum overhaul**

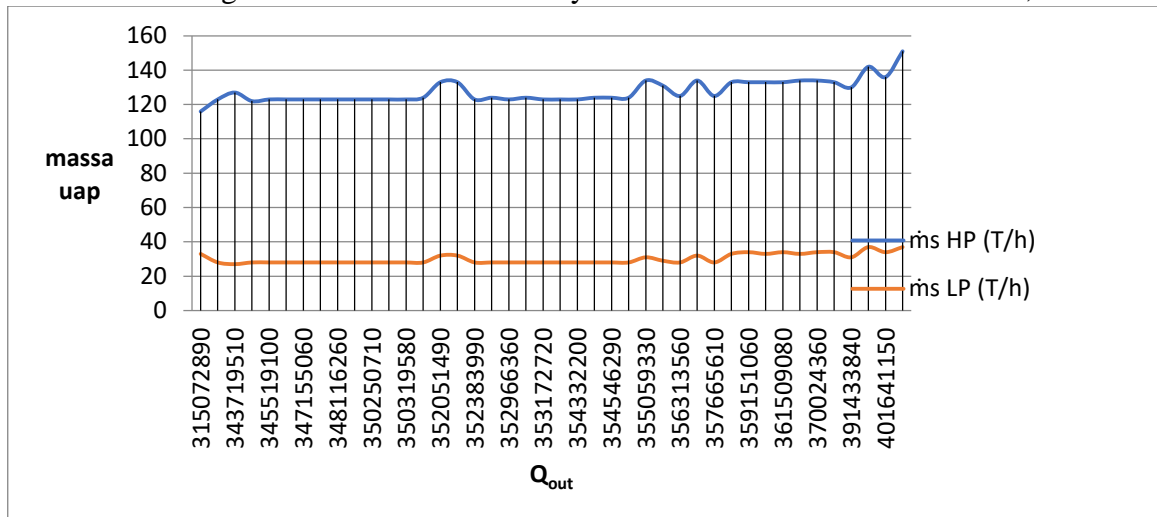
Dengan memperhatikan grafik dapat dilihat bahwa terdapat selisih nilai efisiensi yaitu 1,4% , hal ini berhubungan dengan kesanggupan HRSG dalam menerima pembebanan yang menunjukkan bahwa HRSG sanggup mencapai beban tingginya setelah dilakukan overhaul.

**f. Hubungan massa uap keluar HRSG terhadap  $Q_{out}$**

Hubungan antara massa uap keluar HRSG terhadap  $Q_{out}$  dapat dilihat pada grafik berikut ini:



**Gambar 14. Grafik hubungan massa uap terhadap  $Q_{out}$  pada HRSG 1.1 setelah overhaul**

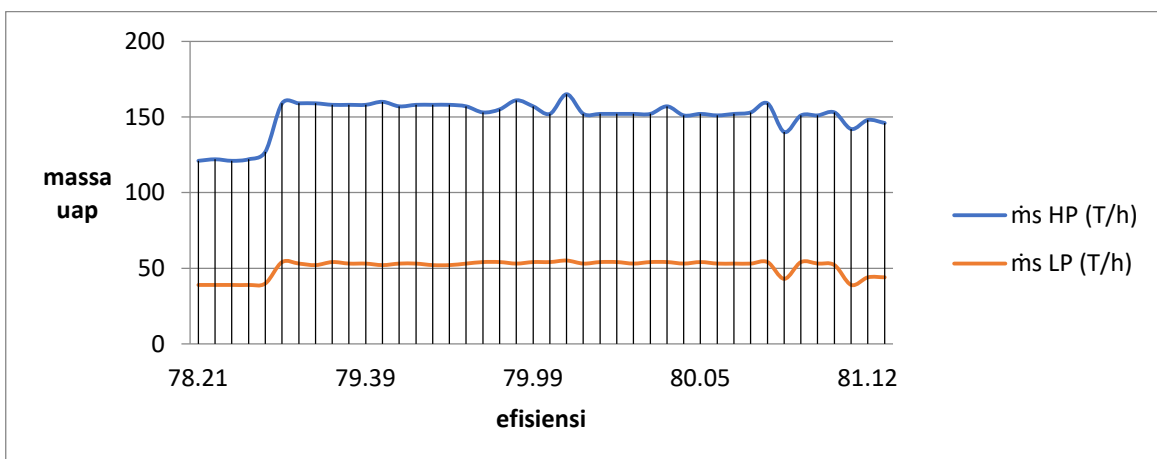


**Gambar 15. Grafik hubungan massa uap terhadap  $Q_{out}$  pada HRSG 1.1 sebelum overhaul**

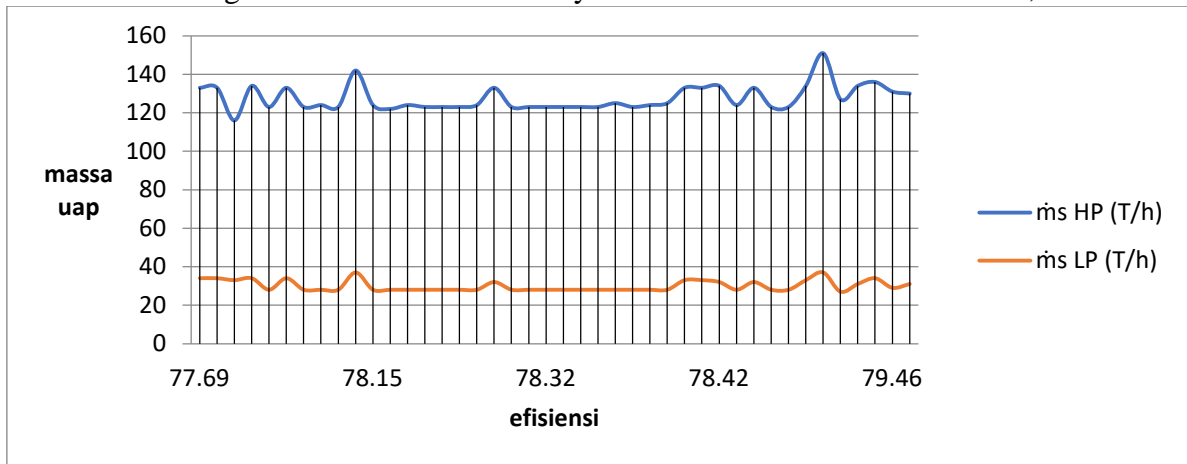
Dari grafik menunjukkan terdapat selisih jumlah massa uap setelah overhaul yaitu 9T/h dan 6T/h untuk sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendahnya, semakin besarnya massa uap yang terbentuk akan menyebabkan  $Q_{out}$  semakin besar. Selain itu meningkatnya massa uap berkaitan dengan suhu air umpan, dimana semakin tinggi suhu air umpan, maka semakin mudah untuk berubah fasa menjadi uap.

**g. Hubungan massa uap keluar HRSG terhadap efisiensi**

hubungan antara massa uap keluar HRSG terhadap efisiensi dapat dilihat pada grafik sebagai berikut:



**Gambar 16. Grafik hubungan massa uap terhadap efisiensi pada HRSG 1.1 setelah overhaul**



**Gambar 17. Grafik hubungan massa uap terhadap efisiensi pada HRSG 1.1 sebelum overhaul**

Hubungan massa uap terhadap efisiensi secara rumus terletak pada diperolehnya nilai  $Q_{out}$  yang digunakan sebagai pembilang dalam rumus. Selain itu efisiensi HRSG juga dapat diukur berdasarkan banyaknya uap yang dihasilkan atau hasil pengubahan fasa air menjadi uap, dengan demikian, jika massa uap yang dihasilkan makin banyak, maka efisiensi HRSG akan lebih tinggi.

## SIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan, perbandingan dan penganalisaan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Efisiensi untuk masing-masing HRSG setelah overhaul adalah, HRSG 1.1 = 79,76%, HRSG 1.2 = 81,14% dan HRSG 1.3 = 81,79%, sedangkan sebelum overhaul adalah, HRSG 1.1 = 78,36%, HRSG 1.2 = 78,46% dan HRSG 1.3 = 79,37%.
2. Perbandingan parameter-parameter HRSG setelah dan sebelum overhaul memberikan hasil sebagai berikut, selisih efisiensi sebesar 1,4%, selisih  $Q_{out}$  sebesar 81363534W dan selisih  $Q_{in}$  sebesar 93947014W.
3. Selisih yang terjadi pada HRSG setelah dilakukan overhaul disebabkan terjadinya perubahan nilai parameter pendukungnya yang meliputi: perubahan massa gas buang sebesar 134153,4 kg/h, selisih suhu air umpan sebesar 10,2°C dan 17,3°C untuk sisi tekanan rendah dan sisi tekanan tingginya dan selisih massa uap 21T/h dan 24T/h untuk sisi tekanan rendah dan sisi tekanan tingginya.



**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Buecker, Brad. 2002. Basics Of Boiler & HRSG Design. Tulsa, Oklahoma: Penn Well Corporation
- [2] Cengel, Yunus A. dan Michael A. Boles. 2006. Thermodynamic An Engineering Approach Fifth Edition. United State: McGraw-Hill
- [3] El-Wakil, M. M. 1985. Power Plant Technology. United State: McGraw-Hill
- [4] Eriksen, Vernon L. 20017. Heat Recovery Steam Generator Technology. Cambridge, United State: Woodhead Publishing
- [5] Hari, Susanto, Hadid Durrijal dan Lentera Semesta. 2009. Mengenal Dan Memahami Proses Operasi PLTGU Pengalaman Dari Gresik. Surabaya : PT Lintang Semesta
- [6] Woodruff, Everett B., Herbert B. Lammers dan Thomas F. Lammers. 2005. Steam Plant Operation Eighth Edition. United State: McGraw-Hill