

## KALKULASI KEBUTUHAN UDARA PEMBAKARAN PADA TURBIN GAS PG-9001A SEBAGAI PENYEDIA PANAS UNTUK PEMBANGKITAN STEAM DI HRSG B-9203A BERDASARKAN KONDISI FIRED MODE

M. Fiqih Alif Utama<sup>1</sup>, Zulkifli<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B. Aceh-Medan Km. 280 NBuketrata 24301 INDONESIA

<sup>1</sup>[muhammadfiqihalif@gmail.com](mailto:muhammadfiqihalif@gmail.com)

### ABSTRAK

Instalasi Kombinasi (*Combyne Cycle*) adalah sebuah proses pembangkitan energi yang menggabungkan turbin gas, yang bertugas membangkitkan energi listrik dan Boiler untuk pembangkitan steam, dimana gas bekas yang keluar dari turbin gas yang masih memiliki enthalpy dan temperatur yang cukup tinggi dimanfaatkan sebagai energi atau udara pembakaran (tambahan burner) pada boiler untuk mengubah air menjadi uap (*steam*). Pengamatan ini bertujuan untuk menghitung seberapa besar kontribusi gas buang dari turbin terhadap efisiensi dari boiler melalui perhitungan neraca massa dan neraca energi dari gas buang dan air umpan boiler. Perhitungan kebutuhan udara pembakaran pada turbin menjadi salah satu hal yang penting guna melihat seberapa besar laju alir massa dari gas buang dan pengaruhnya terhadap pengoptimalan panas pada HRSG. Dari hasil perhitungan didapat kebutuhan udara pembakaran pada turbin sebesar 72.668,2657 Kg/h dan pada burner sebesar 3.862,6548 Kg/h, sehingga total laju aliran massa gas buang didapat sebesar 279.787,7544 Kg/h, untuk total laju aliran energi panas gas buang turbin dan burner yang diberikan terhadap HRSG sebesar 268.980.660,5674 kJ/h dengan laju aliran energi panas yang diterima HRSG sebesar 201.081.031,4 kJ/h dan besar panas yang hilang mencapai 67.899.629,1674 kJ/h. Sehingga didapatlah efisiensi HRSG berdasarkan kondisi fired mode sebesar 74,76 %.

Keyword : *Boiler, Burner, HRSG, Steam dan Turbin.*

### ABSTRACT

Combination Installation (*Combyne Cycle*) is an energy generation process that combines gas turbines, which are tasked with generating electrical energy and boilers for steam generation, where used gas coming out of gas turbines that still have enthalpy and high temperatures are utilized as energy or combustion air (additional burner) in boilers to convert water into steam. This observation aims to calculate how much exhaust gas from turbines contributes to the efficiency of the boiler through the calculation of the mass balance and energy balance of exhaust gas and boiler feed water. Calculating the need for combustion air in turbines is one of the important things to see how much mass flow rate from exhaust gases and its effect on heat optimization in HRSG. From the calculation of combustion air needs in turbines amounting to 72,668,2657 Kg / h and on the burner of 3,862,6548 Kg / h, so that the total flow rate of exhaust gas mass obtained by 279,787,7544 Kg / h, for the total flow rate of turbine exhaust gas and burner heat energy provided to HRSG of 268,980,660,5674 kJ/h with the rate of thermal energy flow received by HRSG of 201,081,031.4 kJ/h and the amount of heat lost reaching 67,899,629,1674 kJ/h. So that hrsg efficiency is obtained based on fired mode condition of 74.76%.

Keyword : *Boiler, Burner, HRSG, Steam dan Turbine.*

## PENDAHULUAN

Suatu industri pengolahan minyak dan gas bumi tidak lepas dari bantuan unit penunjang jalannya proses utama pabrik agar dapat berjalan lebih maksimal. Pada PT. Perta Arun Gas, *Utilities* adalah salah satu bagian didalam departement operasi disamping bagian-bagian lain seperti *LNG Proses*, *Storage & Loading*, dan *SRU*. Sebagaimana fungsi umum dari departement operasi adalah bertanggung jawab atas operasi dari pabrik, maka fungsi dan tugas dari bagian *utilities* adalah bertanggung jawab atas operasi dari unit-unit penunjang untuk proses utama pabrik, yaitu proses pengolahan gas alam menjadi produk yang berkualitas untuk keperluan industri pemakai. Didalam proses pengolahan ini, diperlukan adanya tenaga listrik, air pendingin, steam, nitrogen, dan lain-lain yang bersifat membantu proses utama pabrik.

Salah satu unit penunjang yang paling berperan besar bagi jalannya proses pabrik, yaitu *Power Generator unit 90*. Unit ini berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik yang dipakai peralatan pabrik dan perumahan PT. Perta Arun Gas. Saat ini, Unit 90 mempunyai 6 generator dengan turbin gas sebagai penggerakannya yang akan dioperasikan sesuai kebutuhan atau pemuatan *load*. Seiring dengan bertambahnya usia dan lamanya beroperasi, *performance* turbin gas dalam mengkompresi udara menurun dikarenakan timbunan *deposit* berupa kotoran atau jelaga yang menempel pada *rotor blade* kompresor, sehingga output produk (*load*) dari generator akan menurun. Indikasi penurunan kinerja ditandai oleh suatu penurunan *output power* secara bersangsur-angsur dan disertai peningkatan konsumsi *fuel gas*. Dengan meningkatnya konsumsi *fuel gas*, kinerja ruang pembakaran menjadi lebih terbebani. Kotornya *blade* kompresor juga mengakibatkan penurunan flow

udara, efisiensi kompresor turun dan *pressure ratio* kompresor juga turun.

Salah satu permasalahan yang paling utama juga disebabkan tidak adanya indikasi pembacaan seberapa besar laju alir udara yang masuk menuju kompresor dan menjadi udara pembakaran pada *Combustion Chamber* turbin gas. Pembakaran tidak akan terjadi jika udara yang masuk tidak mencukupi, begitu pula sebaliknya. Bahkan, tidak menutup kemungkinan terjadinya ledakan. Sehingga pengaturan kebutuhan udara pembakaran yang tepat sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil panas yang optimum dan perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai berapa besar udara yang terpakai sebagai udara pembakaran turbin gas.

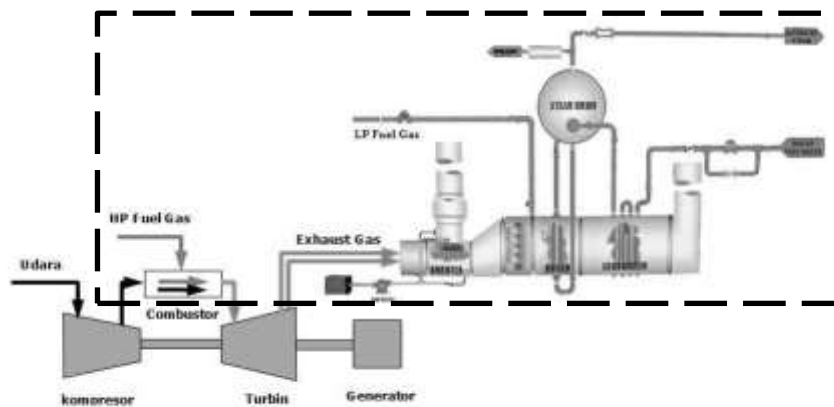
Berkurang dan menipisnya cadangan gas kilang menjadi salah satu permasalahan besar yang dialami PT. Arun NGL pada tahun 2003, sehingga munculah ide dari pengkajian para engineer untuk memanfaatkan gas panas buangan turbin. Gas buangan tersebut memiliki suhu berkisar antara 400-450°C. Gas buangan memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan, sehingga dibangunlah *Heat Recovery Steam Generation*. Dengan adanya unit ini, maka pemakaian bahan bakar dan *emisi* lingkungan dapat diminimalkan serta meningkatkan *plant thermal efficiency*. Steam yang dihasilkan dialirkan ke beberapa unit sebagai media pemanas di *boiler-boiler* pada unit proses kilang. Menurunnya efisiensi turbin terutama pada proses pembakaran tentu berdampak negatif bagi proses pembentukan *steam* di *HRSG*. Panas *exhaust turbin gas* yang kurang maksimal dapat menambah beban *burner* dalam membantu pemanasan *boiler*. *Steam* yang dihasilkan bergantung pada temperatur turbin, dimana jika temperatur turbin rendah maka *steam* yang dihasilkan rendah.

Berdasarkan hal tersebut, perlu adanya informasi tentang seberapa besar kontribusi gas buangan turbin gas dan burner sebagai media pemanasan pada boiler dalam pembentukan steam dan efisiensi dari unit HRSG.

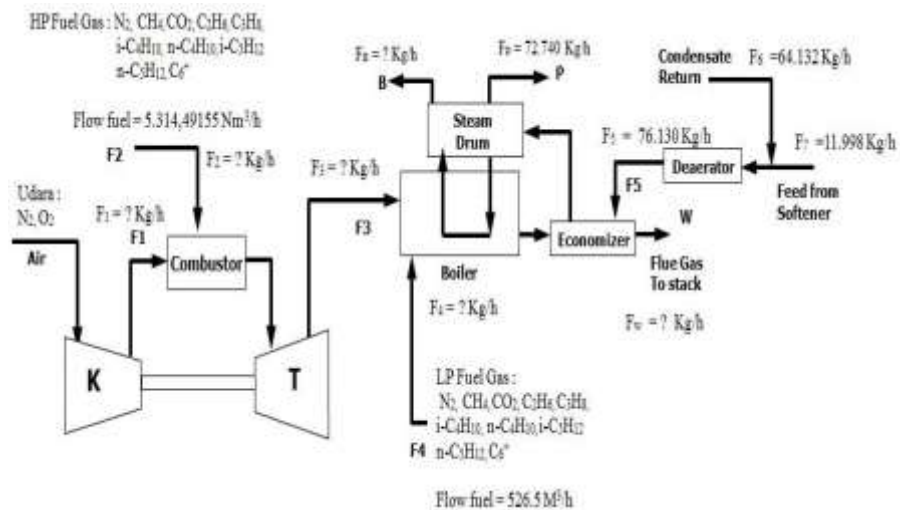
### METODE PENELITIAN

Pengamatan akan dilakukan di Utilities Power Plant PT Perta Arun Gas selama 4 bulan dengan rentang waktu mulai bulan Desember 2016–Januari 2017. Peralatan utama proses yang diamati adalah unit Turbin gas Power Generator PG-9001 A dan Boiler HRSG B-9203 A. Indikator Kinerja sebagai bahan kajian hasil pengamatan yang akan dilakukan yaitu

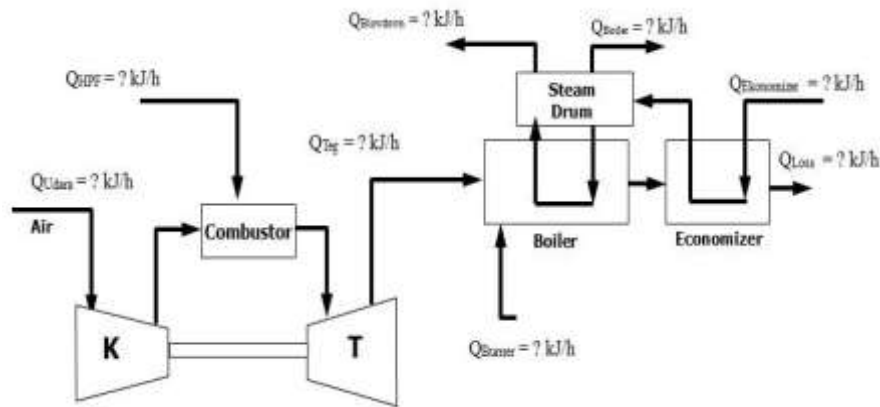
Temperatur, Laju Alir (Flow), Tekanan (Pressure), Data Hp dan Lp Fuel gas analisis dan Data Flue gas analisis. Dalam indikator Temperatur terdapat Temperatur udara masuk, Temperatur air umpan (Boiler feed water) dan Temperatur saturated steam. Laju Alir terdiri dari Flow air umpan (Boiler feed water), Flow saturated steam dan Flow Hp dan Lp fuel gas. Indikator Tekanan (Pressure) berupa Tekanan air umpan (Boiler feed water) dan Tekanan Steam. Perhitungan Neraca massa dan neraca energi dihitung berdasarkan diagram pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 1. Batasan Sistem



Gambar 2 Blok Diagram Neraca Massa



Gambar 3 Blok Diagram Neraca Energi

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Instalasi Kombinasi (*Combyne Cylcle*) adalah sebuah proses pembangkitan energi yang meng gabungkan turbin gas, yang bertugas membangkitkan energi listrik dan Boiler untuk pembangkitan steam, dimana gas bekas yang keluar dari turbin gas yang masih memiliki enthalpy dan temperatur yang cukup tinggi dimanfaatkan sebagai energi atau udara pembakaran (tambahan burner) pada boiler untuk mengubah air menjadi uap.

Hampir seluruh sistem turbin gas yang tersedia saat ini beroperasi pada siklus Bryton terbuka dimana kompresor mengambil udara dari atmosfer dan membawanya pada tekanan yang lebih tinggi ke ruang bakar sehingga suhu udara juga meningkat karena kompresi. Udara dikirimkan melalui sebuah diffuser ke ruang pembakaran yang bertekanan konstan, dimana bahan bakar diinjeksi dan dibakar. Diffuser menurunkan kecepatan udara ke nilai yang dapat diterima dalam ruang pembakaran.

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Udara pembakaran disini adalah sejumlah udara yang diperlukan untuk bereaksi dengan bahan bakar, sehingga terciptanya suatu proses pembakaran. Pada penelitian, kebutuhan udara teoritis pada sistem dihitung dengan asumsi pembakaran

sempurna (*stoikiometrik*), yaitu reaksi pembakaran dimana semua hidrogen dan karbon di dalam bahan bakar teroksidasi seluruhnya menjadi  $H_2O$  dan  $CO_2$ . Pada kenyataannya, tidak mungkin terjadi proses pembakaran sempurna jika hanya didasarkan kebutuhan udara teoritis saja. Oleh karena itu udara perlu diberikan dalam jumlah berlebih untuk memastikan terjadinya pembakaran secara sempurna seluruh bahan bakar yang ada.

Pada penelitian ini kebutuhan udara teoritis untuk proses pembakaran pada turbin gas di dapat sebesar 72.668,2657 Kg/h dengan konsumsi fuel sebesar 4.287,8255 Kg/h. Udara berlebih yang berasal dari turbin gas dimanfaatkan kembali untuk proses pembakaran pada burner HRSG dengan LP fuel gas sebagai bahan bakarnya. Kebutuhan udara untuk proses pembakaran pada burner sebesar 3.862,6548 Kg/h dengan konsumsi fuel sebesar 227,9587 Kg/h. Besarnya kebutuhan udara pembakaran sangat tergantung pada konsumsi bahan bakar. Semakin besar fuel gas, maka semakin besar pula udara yang dibutuhkan untuk pembakaran. Pada turbin gas, konsumsi fuel gas sangat tergantung dari beban (*load*) yang terpakai. Semakin besar daya listrik yang terpakai oleh user mendorong generator harus bekerja pada kerja idealnya, yaitu pada putaran 3000 rpm

dengan frekuensi 50 Hz. Jika penggunaan daya listrik meningkat, putaran generator akan turun disertai frekuensinya. Hal ini mendorong turbin harus berputar lebih

besar lagi untuk memutar generator melalui penambahan fuel pembakaran.

**Tabel 1** Hasil Perhitungan Laju Alir Massa Fuel Gas ( $m_f$ )

| Parameter                | Turbin Gas F2<br>(Kg/h) | Burner F4<br>(Kg/h) |
|--------------------------|-------------------------|---------------------|
| Laju alir massa fuel gas | 4.287,8255              | 227,9587            |

**Tabel 2** Hasil Perhitungan Kebutuhan Udara Pembakaran ( $m_o$ )

| Parameter                            | Turbin Gas F1<br>(Kg.h) | Burner F4<br>(Kg) |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Kebutuhan udara pembakaran ( $m_o$ ) | 72.668,2657             | 3.862,6548        |

**Tabel 3** Hasil Perhitungan Laju Alir Massa Gas Buang ( $m_b$ )

| Parameter                 | Turbin Gas F3<br>(Kg/h) | Burner F4<br>(Kg/h) | Total W<br>(Kg/h) |
|---------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|
| Laju alir massa gas buang | 279.787,7544            | 14.666,5623         | 294.454,3167      |

**Tabel 4** Hasil Perhitungan Laju Alir Massa Pada HSRG

| Parameter       | Air Umpan F5<br>(Kg/h) | Steam Produk FP<br>(Kg/h) | Blowdown FB<br>(Kg/h) |
|-----------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Laju alir massa | 76.130                 | 72.740                    | 3.390                 |

**Tabel 5** Neraca Massa Total Pada Turbin Gas

| Parameter              | Masuk       |            |              | Keluar       |
|------------------------|-------------|------------|--------------|--------------|
|                        | F1          | F2         | E            | F3           |
| Laju Alir Massa (Kg/h) | 72.668,2657 | 4.287,8255 | 202.831,6632 | 279.787,7544 |
| Total                  | 279787,7544 |            |              | 279787,7544  |

**Tabel 6** Neraca Massa Total Pada HRSG

| Parameter              | Masuk        |             |        | Keluar       |        |            |
|------------------------|--------------|-------------|--------|--------------|--------|------------|
|                        | F1           | F4          | F5     | FB           | FP     | W          |
| Laju Alir Massa (Kg/h) | 279.787,7544 | 14.666,5623 | 76.130 | 3.390        | 72.740 | 294.454,32 |
| Total                  | 370.584,3167 |             |        | 370.584,3167 |        |            |

Gas buang hasil pembakaran menuju turbin gas dan menghasilkan kerja mekanis untuk menggerakkan beban (generator listrik). Gas hasil pembakaran diekspansikan melalui sudu turbin gas sehingga menghasilkan momen putar pada poros turbin gas. Momen tersebut dipergunakan untuk memutar generator. Gas buang setelah berekspansi dalam turbin meninggalkan turbin pada temperatur yang cukup besar (400-600°C) yang ideal untuk dimanfaatkan kembali untuk pemanfaatan kembali panas (HRSG).

Pada PT. Perta Arun Gas, Steam merupakan salah satu kebutuhan pokok yang harus dipenuhi untuk berlangsungnya proses pengolahan gas dengan baik berupa pemanasan pada beberapa proses. *Boiler* adalah jenis alat penukar panas antara gas dengan cairan, dimana dengan sistem ini panas dari gas buang turbin dimanfaatkan sebagai pemanas air untuk menjadi Steam. *Boiler* merupakan salah satu bagian alat penukar panas pada HRSG. *Boiler* memiliki peranan penting dalam penentuan

efisiensi *thermal boiler* secara keseluruhan. *Boiler* bekerja dengan mengambil panas (*heat recovery*) dari gas buang (*flue gas*) yang keluar dari *Turbin Exhaust Gas* dan burner (Pembakaran internal) apabila kebutuhan akan steam sangat dibutuhkan besar.

Prinsip kerja dari sistem HRSG adalah perpindahan panas, dimana air yang masuk menyerap panas yang berasal dari gas buang turbin di sertai pembakaran internal hingga terbentuk uap. Steam yang terbentuk pada HRSG adalah *Saturated Steam* (uap jenuh). Efisiensi dari HRSG harus diperhatikan dengan baik. Untuk itu perlu diketahui seberapa besar energi panas yang dihasilkan oleh exhaust gas dan burner serta energi panas yang diterima air umpan untuk dapat menjadi uap atau steam. Berdasarkan hasil perhitungan, Jumlah laju aliran massa gas buang (mTEG) yang dihasilkan oleh turbin gas adalah sebesar 279.787,7544 Kg/h, Laju aliran massa yang diberikan burner adalah sebesar 14.666,5623 Kg/h dan laju aliran massa *blowdown* (mB) sebesar 3.390 Kg/h.

**Tabel 7** Hasil Perhitungan Neraca Energi

| Parameter                                      | Hasil            | Satuan |
|--|------------------|--------|
| Panas udara kering untuk pembakaran            | 2.191.166,2156   | kJ/h   |
| Panas yang diberikan Exhaust Gas ( $Q_{Teg}$ ) | 249.716.363,8074 | kJ/h   |
| Panas yang diberikan Burner ( $Q_{Burner}$ )   | 19.264.296,76    | kJ/h   |
| Panas total yang diterima HRSG ( $Q_{HRSG}$ )  | 201.081.031,4    | kJ/h   |
| Kehilangan panas total ( $Q_{Loss}$ )          | 67.899.629,1674  | kJ/h   |
| Persentase kehilangan panas                    | 25,24            | %      |
| Efisiensi Boiler HRSG (%)                      | 74,76            | %      |

**Tabel 8** Neraca Energi Total Pada HRSG

| Parameter                 | Masuk            |               | Keluar           |                |                 |
|---------------------------|------------------|---------------|------------------|----------------|-----------------|
|                           | $Q_{Teg}$        | $Q_{Burner}$  | $Q_{HRSG}$       | $Q_{Blowdown}$ | $Q_{Loss}$      |
| Laju Aliran Energi (kJ/h) | 249.716.363,8074 | 19.264.296,76 | 201.081.031,4    | 2.179.416,694  | 65.720.212,4734 |
| Total                     | 268.980.660,5674 |               | 268.980.660,5674 |                |                 |

Dari hasil perhitungan laju aliran energi panas gas buang turbin (QTEG) yang diberikan kepada HRSG adalah sebesar 249.716.363,8074 kJ/h dan laju aliran energi panas yang diberikan oleh burner sebesar 19.264.296,76 kJ/h. Sedangkan besarnya energi panas yang diterima air umpan pada boiler untuk menjadi steam adalah 185.083.922 kJ/h dan ekonomizer sebesar 15.997.109,35 kJ/h dengan besar panas yang hilang mencapai 67.899.629,1674 kJ/h. Berdasarkan perhitungan tersebut, Besarnya efisiensi HRSG (B-9203A) berdasarkan pada kondisi fired mode adalah sebesar 74,76 %. Penurunan kondisi operasi berupa efisiensi dari HRSG disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya lamanya waktu beroperasi, usia dari alat, serta keausan dari pipa-pipa boiler yang ditimbulkan oleh adanya kerak-kerak (*Scaling*) atau endapan pada dinding pipa.

Endapan dalam boiler dapat diakibatkan dari kesadahan air umpan dan hasil korosi dari sistem kondensat dan air umpan. Kesadahan air umpan dapat terjadi karena kurangnya sistem pelunakan. Endapan dan korosi menyebabkan kehilangan efisiensi yang dapat menyebabkan kegagalan dalam pipa boiler dan ketidakmampuan memproduksi *steam*. Endapan bertindak sebagai *isolator* dan memperlambat perpindahan panas. Sejumlah besar endapan diseluruh boiler dapat mengurangi perpindahan panas yang secara signifikan. Efek pengisolasian terhadap endapan menyebabkan naiknya suhu pipa boiler dan mungkin dapat menyebabkan kegagalan pipa berupa kebocoran atau pecah karena pemanasan berlebih. Penambahan bahan kimia dapat menyebabkan terbentuknya endapan (Lihat lampiran L.5.16). Bahan kimia yang mempengaruhi pembentukan endapan dalam boiler adalah garam kalsium dan magnesium yang dikenal dengan garam sadah.

Kehilangan energi panas juga disebabkan oleh adanya sistem blowdown yang dilakukan secara kontinyu pada steam drum. Jika air dididihkan untuk menghasilkan steam, padatan terlarut yang terdapat dalam air akan mengendap di boiler. Diatas tingkat konsentrasi tertentu, padatan tersebut mendorong terbentuknya busa dan menyebabkan terbawanya air ke steam. Endapan juga mengakibatkan terbentuknya kerak dibagian dalam boiler, mengakibatkan pemanasan setempat menjadi berlebih dan akhirnya menyebabkan kegagalan pada pipa boiler. Oleh karena itu penting untuk mengendalikan tingkat konsentrasi padatan dalam suspensi dan yang terlarut dalam air yang dididihkan, sehingga perlu dilakukan '*blowdown*', dimana sejumlah tertentu volume air dikeluarkan dan secara otomatis diganti dengan air umpan. Dengan demikian akan tercapai tingkat optimum total padatan terlarut (*TDS*) dalam air boiler dan membuang padatan yang sudah rata keluar dari larutan dan yang cenderung tinggal pada permukaan boiler. *Blowdown* penting untuk melindungi permukaan penukar panas pada boiler.

Untuk mendapatkan perpindahan panas yang baik maka endapan maupun kerak yang terjadi pada pipa-pipa *boiler* dan *economizer* harus benar-benar diperhatikan. Hal ini dapat dilakukan dengan mengoptimalkan proses penghilangan sifat kesadahan pada air umpan dan juga penghilangan kadar oksigen pada unit sebelumnya, sehingga penggunaan bahan kimia yang diberikan pada steam drum tidak terlalu berlebihan karena penambahan bahan kimia dapat menyebabkan terbentuknya kerak. Dengan berkurangnya endapan ataupun kerak dalam pipa-pipa *boiler* dan *economizer* maka perpindahan panas akan terjadi lebih baik.



## SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu Kebutuhan udara pembakaran pada turbin gas sebesar 72.668,2657 Kg/h dan kebutuhan udara pembakaran pada burner sebesar 3.862,6548 Kg/h. Besar laju aliran massa exhaust turbin gas sebesar 279.787,7544 Kg/h dan besar laju aliran massa burner sebesar 14.666,5623 Kg/h. Besar laju aliran energi panas yang diberikan oleh exhaust turbin gas sebesar 249.716.363,8074 kJ/h dan besar laju aliran energi panas yang diberikan oleh burner sebesar 19.264.296,76 kJ/h. Besar laju aliran energi panas yang diterima air umpan pada boiler adalah sebesar 185.083.922 kJ/h dan ekonomizer sebesar 15.997.109,35 kJ/h dengan besar panas yang hilang mencapai 67.899.629,1674 kJ/h. Efisiensi HRSG berdasarkan kondisi fired mode sebesar 74,76 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agus, A, dkk, 2007. *Utilities Theory of Process Volume II*. Blang Lancang: Lhokseumawe. PT. Arun NGL. Co.
- Azwar, L. 1985. *Teori Proses Perpindahan Panas dan Proses Pembakaran*. Blang Lancang: Lhokseumawe. PT. Arun NGL. Co.
- Deltak, LLC. 2002. *Operating Manual and Data Design*. Minneapolis, USA.
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operation*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, Inc.
- Habiba, H.M.S & Suryani, F.C. 2006. *Analisis Efektivitas Sistem Pembangkitan Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Pada PT. Energi Sengkang*. J. Iltek Vol 1 (2), Hal. 1-17.
- Himmelblau, D.M. 2004. *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering (Seventh Edition)*. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall.
- Himmelblau, D.M. 2012. *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering (Eighth Edition)*. USA : Pearson Education, Inc.
- Kern, D.Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Singapore : McGraw-Hill Company.
- Perry, R.H and Green, D. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7<sup>th</sup> edition*. Singapore : McGraw-Hill Book Co.
- Setyoko, B. 2005. *Analisa Efisiensi Peforma HRSG (Heat Recovery Steam Generation) pada PLTGU*. Traksi. Vol 4 (2), Hal 2-3.
- Sugiantoro, B. 2004. *Analisis Teknik Proses Pembakaran Fosil Fuel dan Penggunaan Fame Fatty Acid Methyl ester (Bio Fuel) Sebagai Peluang Efisiensi Energi dan Peningkatan Performasi Engine*, ISSN 1978-2497. hal 134-138.
- Tekad, S. & Sahala, H.P.S. 2014. *Perancangan Heat Recovery Steam Generator (HRSG) yang memanfaatkan gas buang turbin gas di PLTG PT. PLN (PERSERO) Pembangkitan dan Penyaluran Sumatera Bagian Utara Sektor Belawan*. J. E-Dinamis Vol 8 (4), Hal 231.