

# ANALISA PERFORMA HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR SEBELUM DAN SESUDAH CLEANING DI PT INDONESIA POWER TAMBAK LOROK SEMARANG MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB R.12PIROLISIS GETAH PINUS

---

Ahmad Yusron<sup>1</sup>, Danang Dwi Saputro<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
Email: ahmadyusron1993@gmail.com

**Abstrak.** Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) atau pembangkit jenis combine cycle adalah gabungan antara Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dimana di dalam PLTGU memanfaatkan gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dalam instalasi PLTGU terdapat peralatan yang dinamakan Heat Recovery Steam Generator (HRSG). Peralatan utama dari pembangkit listrik tenaga uap yang berfungsi untuk memanfaatkan gas buang. Penggunaan HRSG dapat meningkatkan efisiensi dari pembangkit listrik tenaga uap karena HRSG hanya memanfaatkan gas buang dari turbin gas, gas buang yang terkandung didalam exhaust turbine gas yang temperaturnya masih mencapai 560° C masih bisa dimanfaatkan untuk memproduksi uap air bertekanan. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi beban yang diberikan pada saat pagi, siang dan malam hari sedangkan Variabel terikat pada penelitian ini adalah temperature, tekanan, entalpi dan massa aliran. Pada bulan Agustus efisiensi HRSG sebesar 78,9% turun sebesar 4,05% untuk bulan September. Sedangkan penurunan bulan Oktober dan November masing-masing sebesar 9,64% dan 33,63%. Nilai penurunan efisiensi semakin besar mendekati masa cleaning. Hal ini karena semakin mendekati masa cleaning, kondisi HRSG semakin buruk yang berpengaruh terhadap kinerja HRSG yang semakin buruk pula. Pada bulan Desember setelah dilaksanakan cleaning, nilai rata-rata efisiensi HRSG kembali meningkat sebesar 89.3%.

**Kata Kunci :** HRSG; temperature; massa alir; entalpi.

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini erat sekali hubungannya dengan listrik, dimana saat ini listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting. Listrik merupakan salah satu alat yang sangat vital dan strategis, hal ini menjadi perhatian yang serius dan semua pihak harus ikut andil dalam proses memproduksi listrik secara aman dan efisien (Kurniawan, 2014). Untuk meningkatkan

efisiensi salah satu caranya dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi. Dengan menerapkan model siklus kombinasi yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (Burlian, 2013).

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) atau pembangkit jenis *combine cycle* adalah gabungan antara Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dimana di dalam PLTGU memanfaatkan gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU (Kurniawan, 2014). Dalam instalasi PLTGU terdapat peralatan yang dinamakan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Menurut Marzuki HRSG adalah peralatan utama dari pembangkit listrik tenaga uap yang berfungsi untuk memanfaatkan gas buang. Penggunaan HRSG dapat meningkatkan efisiensi dari pembangkit listrik tenaga uap karena HRSG hanya memanfaatkan gas buang dari turbin gas, gas buang yang terkandung didalam *exhaust turbine gas* yang temperaturnya masih mencapai 560°C masih bisa dimanfaatkan untuk memproduksi uap air bertekanan (Marzuki, nd : 3).

Nordin dan Majid (2015) menjelaskan kinerja HRSG dapat dilihat dari perhitungan efisiensi energi dan efisiensi exergi, dimana efisiensi energi didasarkan pada hukum termodinamika pertama dan efisiensi exergi didasarkan pada hukum termodinamika kedua. Hukum pertama termodinamika mengatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat dikonversi dari bentuk satu ke bentuk lain sedangkan hukum kedua termodinamika untuk mengetahui suatu proses dapat berlangsung atau tidak maka diperlukan pengertian entropi dari kedua hukum termodinamika tersebut hukum termodinamika pertama tidak menerangkan dapat tidaknya suatu proses dapat berlangsung (Pudjanarsa, 2013 : 15).

Penelitian mengenai efisiensi HRSG sebelumnya pernah dilakukan oleh Setyoko (2006) yang membahas mengenai analisa efisiensi performa HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) pada PLTGU. Penelitian tersebut menjelaskan tentang perhitungan efisiensi HRSG dengan membandingkan laju aliran energi yang digunakan untuk menguapkan air pada tekanan rendah maupun tekanan tinggi dan laju aliran energi yang terkandung dalam gas buang dari turbin gas.

Kolluru, *et al.* (2014) melakukan penelitian tentang *performance analysis of a heat recovery steam generator*. Pada penelitiannya menjelaskan kinerja dan analisis HRSG dengan menggunakan dua siklus yaitu siklus turbin gas dan siklus turbin uap dimana siklus tersebut merupakan sistem yang ada pada HRSG.

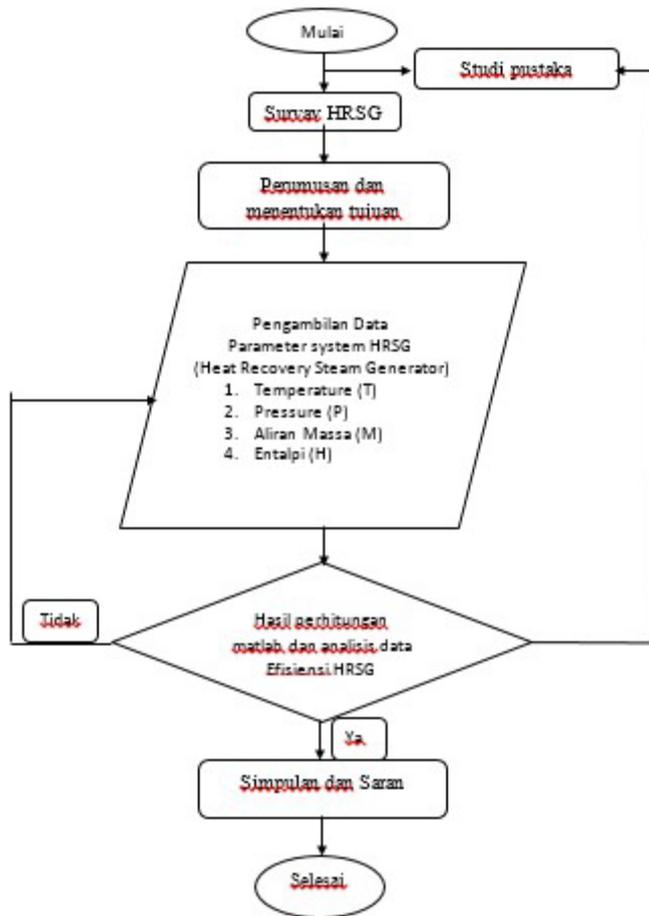
Nordin dan Majid (2015) melakukan penelitian tentang *performance assessment of heat recovery steam generator at district cooling plant*. Pada penelitiannya menjelaskan tentang kinerja HRSG yang didasarkan pada hukum pertama dan kedua termodinamika. Parameter yang diambil dalam penelitian ini adalah efisiensi energi dan efisiensi exergi dimana laju aliran massa bahan bakar mempengaruhi efisiensi energi dan efisiensi exergi HRSG.

Tujuan pada penelitian adalah menghitung efisiensi HRSG sebelum dan sesudah cleaning pada system pembangkit listrik menggunakan software matlab, mengetahui pengaruh efisiensi

HRSG sebelum dan sesudah cleaning serta mengerti cara mengoptimalkan kinerja HRSG. Perhitungan efisiensi HRSG pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan laju aliran energi yang digunakan untuk menguapkan air, baik pada uap tekanan rendah maupun uap tekanan tinggi dan laju aliran energi yang terkandung dalam gas buang dari sistem PLTG yang berguna dalam HRSG. Dalam penelitian ini perhitungan efisiensi HRSG dilakukan dengan menggunakan program MATLAB R 12. MATLAB merupakan suatu program komputer yang bisa membantu memecahkan berbagai masalah matematis yang kerap ada dalam bidang teknis. Memanfaatkan kemampuan MATLAB untuk menemukan solusi dari berbagai masalah numerik secara cepat.

## **METODE**

Penelitian ini menggunakan teknik observasi terstruktur. Menurut Sugiyono (2012: 205), observasi terstruktur adalah observasi yang dirancang secara sistematis tentang objek yang akan diteliti, kapan dan di mana tempat penelitian dilaksanakan. Observasi terstruktur dilakukan apabila peneliti telah mengetahui dengan pasti variabel apa yang akan diamati. Pengambilan data dimulai dengan melakukan observasi di lapangan. Survey HRSG untuk mengetahui data apa saja yang bisa didapat dari proses tersebut kemudian lakukan perumusan masalah dan menentukan tujuan penelitian yang ingin didapat. Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini secara garis besar terdiri dari temperature, tekanan, massa alir dan entalpi. Setelah semua data didapat lakukan pengolahan data dan menganalisis data-data yang sudah didapat dan disesuaikan dengan keadaan dilapangan yang ada seperti yang terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan data perhitungan nilai laju korosi, laju aliran panas yang terjadi pada pipa-pipa dan efisiensi HRSG pada semua waktu yang ditentukan pada setiap masing-masing bulan, maka perhitungan tersebut disajikan dalam bentuk Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1 Laju Korosi pada HRSG

	Economizer	Evaporator	Superheater
Laju Korosi (R)	0,631 mm/bln	0,631 mm/bln	0,631 mm/bln

Hasil perhitungan laju korosi yang terjadi pada pipa-pipa hrsg setiap bulan mencapai 0,631 mm dapat dilihat pada Tabel 1. Untuk ketebalan korosi yang terbentuk semakin meningkat setiap bulannya sehingga korosi yang terbentuk sebelum *cleaning* mencapai 6,524 mm/bulan, hal ini dapat mengurangi atau memperkecil diameter dalam akibat terbentuknya

korosi pada pipa yang terus meningkat setiap bulannya. Korosi pada pipa hrsg yang terbentuk termasuk jenis korosi merata dimana pada setiap sisi-sisi pipa hrsg mengalami terjadinya korosi. Dengan terbentuknya korosi pada pipa hrsg maka laju aliran panas pada pipa-pipa hrsg semakin terhambat karena dengan bertambahnya ketebalan pipa. Hal ini menjadi salah satu penyebab penurunan efisiensi pada hrsg. Hasil perhitungan laju aliran panas dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2 Laju Aliran panas pada pipa HRSG**

Bulan	Waktu	Laju Aliran Panas w/m
Agustus	06.00	734215
	13.00	736586
	21.00	719988
September	06.00	714026
	13.00	682252
	21.00	687889
Oktober	06.00	443363
	13.00	468699
	21.00	468699
November	06.00	520158
	13.00	512677
	21.00	510178
Desember	06.00	874937
	13.00	874937
	21.00	844113

**Tabel 3 Hasil Perhitungan Kalor input dan Output**

Bulan	Waktu	Output (kJ/s)	Input kJ/S
Agustus	06.00	155274.1	220262.42
	13.00	186798.44	219235.15
	21.00	193126.56	236791.96
September	06.00	164379.41	219235.15
	13.00	17657.34	226276.87
	21.00	180845.93	236288.69
Oktober	06.00	144748.11	206856.13
	13.00	138809.4	212506.10
	21.00	149802.02	213533.36
November	06.00	108182.14	108182.14
	13.00	112868.75	229118.57
	21.00	95420.73	231676.36
Desember	06.00	193127.54	230135.47
	13.00	186798.44	203487.62
	21.00	194116.64	208623.95

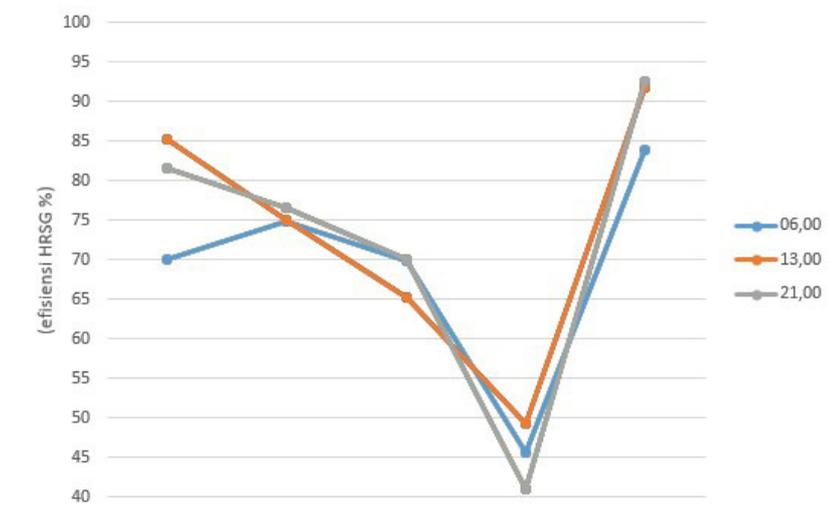
Terdapat pengambilan data yang dilakukan dengan tiga waktu, pada pukul 06.00, 13.00, dan 21.00 yang masing-masing menunjukkan besar nilai pembebanan yang dialami oleh HRSG. Pukul 06.00 menggambarkan pembebanan rendah, pukul 13.00 menggambarkan pembebanan sedang, dan pukul 21.00 menggambarkan pembebanan tinggi. Penggambaran pembebanan ini sesuai data pada Tabel 3, pada daya *output* pukul 21.00 lebih tinggi dari pada daya *output* pukul 13.00 dan pukul 06.00 yang menunjukkan bahwa pukul 21.00 merupakan beban tertinggi yang dialami oleh HRSG. Akan tetapi keterangan tersebut tidak sesuai pada bulan November karena pada bulan ini terdapat berbagai macam kerusakan pada HRSG sebelum dilakukannya *cleaning* pada akhir bulan November. Kerusakan pada HRSG ini menyebabkan kinerja HRSG yang tidak baik sehingga nilai daya *output* lebih rendah dari pada bulan-bulan lainnya. *Qoutput* merupakan besaran energi yang dibutuhkan untuk merubah fasa cair menjadi fasa uap. Terdapat hubungan antara *Qoutput* dengan produksi uap yang dihasilkan untuk disuplai ke turbin uap. Semakin besar nilai *Qoutput* maka semakin banyak produksi uap, namun sebaliknya semakin kecil nilai *Qoutput* maka semakin sedikit produksi uap. Penurunan produksi uap dimuali dari bulan Agustus hingga bulan November. Penurunan produksi pada bulan Agustus ke bulan September sebesar 3,2%. Sedangkan penurunan produksi uap pada bulan September ke bulan Oktober dan bulan Oktober ke bulan November masing-masing sebesar 16,3% dan 26,97%. Setelah dilakukan *cleaning*, produksi uap kembali naik dengan kenaikan sebesar 81,4%.

**Tabel 4 Efisiensi HRSG**

Bulan	Waktu	Efisiensi HRSG (%)	Rerata Efisiensi HRSG (%)
Agustus	06.00	70	78,9
	13.00	85,2	
	21.00	81,5	
September	06.00	74,9	75,7
	13.00	75,4	
	21.00	76,5	
Oktober	06.00	69,9	68,4
	13.00	65,3	
	21.00	70,1	
November	06.00	45,7	45,4
	13.00	49,2	
	21.00	41,1	
Desember	06.00	83,9	89,3
	13.00	91,7	
	21.00	92,5	

Pada Tabel 4 merupakan tabel korelasi antara efisiensi dengan waktu kerja HRSG. Tabel 3 menunjukkan nilai penurunan rata rata efisiensi HRSG. Rata-rata efisiensi HRSG diambil dari nilai efisiensi pada pukul 06.00, 13.00 dan 21.00 setiap bulannya. Pada bulan Agustus efisiensi HRSG sebesar 78,9% turun sebesar 4,05% untuk bulan September. Sedangkan penurunan bulan Oktober dan November masing-masing sebesar 9,64% dan 33,63%. Nilai penurunan efisiensi semakin besar mendekati masa *cleaning*. Hal ini karena semakin mendekati masa *cleaning*, kondisi HRSG semakin buruk yang berpengaruh terhadap kinerja HRSG yang semakin buruk pula. Pada bulan Desember setelah dilaksanakan *cleaning*, nilai rata-rata efisiensi HRSG kembali tinggi dengan nilai sebesar 89.3% naik sebesar 96% dari bulan November.

Analisis pengaruh *cleaning* terhadap efisiensi HRSG yang dihasilkan adalah sebagai berikut. Melihat hasil perhitungan efisiensi HRSG, maka dapat dikatakan bahwa penurunan ataupun peningkatan beban yang terjadi pada pembangkit listrik gas/uap belum tentu menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi HRSG. Hal ini dikarenakan penurunan beban, maka terjadi pula penuruna kebutuhan uap pada turbin uap dan berkurangnya pembakaran pada unit turbin gas, sehingga jumlah aliran gas asap juga menurun, yang berarti juga penurunan pemakaian bahan bakar , sebaliknya kenaikan beban juga berbanding dengan kenaikan kebutuhan uap pada turbin dan bertambahnya pembakaran pada unit turbin gas, sehingga jumlah aliran gas asap juga naik, yang berarti juga kenaikan pemakaian bahan bakar (Hermawan, 2005: 57). Pernyataan ini yang nantinya akan menjadi dasar untuk membahas masalah-masalah pada bab pembahasan, dengan rata-rata variasi beban per bulan untuk menggambarkan efisiensi HRSG per bulan seperti pada tabel 3. Sehingga grafik efisiensi HRSG akan menjadi seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2. Grafik Efisiensi HRSG**

Penurunan efisiensi HRSG dimulai pada bulan Agustus hingga bulan November. Besarnya nilai penurunan HRSG dapat dilihat pada sub bab analisis data. Penurunan efisiensi ini akan menyebabkan berkurangnya produksi uap yang akan disupply ke turbin uap yang berakibat pada supply pasokan listrik yang berkurang, selain itu akan menyebabkan kerugian biaya operasi akibat daya yang dihasilkan lebih rendah dari pada daya yang dibutuhkan. Permasalahan yang menyebabkan penurunan efisiensi HRSG yaitu:

- a. Menurunnya massa aliran *feed water* pada pipa-pipa pemanas HRSG. Penurunan massa aliran *feed water* dapat dilihat pada tabel data efisiensi HRSG. Penurunan massa aliran *feed water* diduga karena munculnya deposit di dalam pipa pipa pemanas HRSG. Deposit menyebabkan penyempitan luas area dalam pada pipa pipa pemanas HRSG sehingga akan mengganggu massa aliran *feed water*. Sesuai dengan teori kontinuitas fluida, luas area pipa sebanding dengan besarnya nilai massa alir fluida, semakin kecil diameter pipa maka akan menyebabkan menurunnya massa aliran. Bila keadaan ini berlangsung lama, maka jumlah kerak dan lumpur semakin bertambah sehingga menghalangi proses perpindahan panas dari gas pembakaran ke air/uap. Penurunan massa alir *feed water* ini akan menyebabkan menurunnya produksi uap pada seyang menuju ke turbin uap. Menurunnya produksi uap yang tidak sebanding dengan energi yang input untuk merubah *feed water* menjadi uap menjadikan efisiensi HRSG menurun.
- b. 2. Selain disebabkan oleh massa alir fluida, penurunan efisiensi HRSG disebabkan oleh perpindahan panas yang buruk akibatnya laju energi gas buang yang diserap oleh air untuk proses pembentukan uap juga mengalami perubahan sehingga efisiensi HRSG juga mengalami penurunan sesuai kondisi yang terjadi (Ilmar dan Sandra, ND: 29). Perpindahan panas yang terjadi pada HRSG meliputi perpindahan panas secara konveksi dan secara konduksi. Perpindahan panas secara konveksi terjadi antara gas asap pemanasan yang mentransfer panas ke pipa-pipa pemanas. Sedangkan perpindahan panas secara konduksi terjadi akibat panas pipa pemanas yang mentransfer panas ke *feed water* untuk diubah menjadi uap. Akan tetapi perpindahan panas yang buruk terjadi saat pipa pemanas mentransfer panas ke *feed water*. Gangguan perpindahan panas ini diduga akibat munculnya deposit pada pipa pemanas. Perpindahan konduksi akan terhambat ke *feed water* kerana terhalangi oleh adanya deposit. Sehingga panas yang berasal dari gas asap pemanas hanya akan tersimpan ke pipa pemanas, akibatnya *feed water* tidak dapat berubah menjadi uap dan *supply* uap ke turbin uap akan berkurang. Berkurangnya *supply* uap ini akan menyebabkan penurunan efisiensi HRSG, karena jumlah produksi uap besarnya tidak sebanding dengan energi untuk memanaskan *feed water* pada pipa-pipa pemanas.
- c. Penurunan jumlah uap pada HRSG dapat dilihat pada Tabel 3 kalor *output* dapat menggambarkan jumlah uap untuk mensuplai ke turbin uap. Kalor *output* merupakan energi

perubahan fasa *feed water* dalam bentuk cair untuk berubah menjadi uap. Semakin kecil besarnya kalor output maka semakin sedikit jumlah produksi uap. Penurunan rata-rata kalor output terjadi mulai dari bulan Agustus hingga bulan November. Penurunan jumlah uap pada HRSG tidak hanya disebabkan oleh munculnya deposit yang melekat pipa-pipa pemanas sisi dalam, akan tetapi juga diduga disebabkan oleh adanya masalah pecahnya pipa-pipa pemanas akibat terbentuknya korosi erosi yang merupakan gabungan antara kerusakan elektrokimia dan kecepatan fluida yang tinggi pada permukaan logam (Irwanto, 2013: 201). Pecahnya pipa disebabkan oleh beberapa, antara lain (1) masuknya *feed water* ke dalam pipa pemanas dengan kadar Ph yang tidak diizinkan yang akan berakibat kepada korosi yang akan dialami oleh pipa pemanas tersebut. Korosi akan menyebabkan menurunnya kekuatan pipa dalam mendapatkan beban kalor yang berasal dari pemanas gas asap dan juga menurunkan kekuatan pipa pemanas untuk menahan beban *feed water*. (2) Karena *feed water* mengalir secara terus menerus maka semakin lama akan mengikis permukaan pipa pemanas yang menyebabkan ketebalan pipa akan semakin menipis, menipisnya ketebalan pipa juga akan menyebabkan penurunan kekuatan pipa pemanas. (3) Kandungan sulfur pada bahan pemanas yang akan menyebabkan korosi pada bagian luar pipa pemanas. (4) Kandungan anorganik pada *feed water* yang akan menyebabkan timbulnya deposit pada permukaan dalam pipa. Seperti pada uraian sebelumnya plug akan menghambat perpindahan panas pada pipa pemanas ke *feed water* sehingga kalor hanya akan tersimpan pada pipa-pipa pemanas tersebut. Semakin lama pipa pemanas ini akan mengalami *over heating* karena akan terus terpapar oleh panas dari gas asap (Setyoko, 2006). Penyebab-penyebab ini jika dibiarkan secara terus menerus akan menyebabkan pecahnya pipa pemanas. Jika terjadi pipa yang pecah maka cara mengatasinya yaitu dengan dilakukan pengerjaan plug. Plug merupakan metode pengerjaan untuk mengatasi masalah pecahnya pipa pemanas dengan cara merelakan pipa yang pecah dengan menyumbat pipa tersebut. Akibat adanya plug ini aliran *feed water* berkurang dan efisiensi HRSG akan turun karena jumlah pipa pemanas yang mengalirkan *feed water* akan berkurang.

*Cleaning* pada HRSG dilaksanakan karena menurunnya efisiensi performa HRSG, penurunan efisiensi ini akan menyebabkan berkurangnya produksi uap yang akan disupply ke turbin uap yang berakibat pada supply pasokan listrik yang berkurang, selain itu akan menyebabkan kerugian biaya operasi akibat daya yang dihasilkan lebih rendah daripada daya yang dibutuhkan. Setelah dilakukan *cleaning* pada akhir bulan November hingga awal bulan Desember, terjadi perubahan beberapa parameter penyebab menurunnya efisiensi HRSG. Parameter tersebut meliputi diantaranya massa alir *feed water* dan supply energi untuk mengubah fasa cair *feed water* menjadi uap, keduanya nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan sebelum dilakukannya *cleaning*. Kenaikan nilai massa alir *feed water* sebesar dari bulan November, sedang-

kan kenaikan nilai energi untuk mengubah fasa cair *feed water* menjadi uap sebesar dari bulan November. Naiknya nilai massa alir dan energi untuk mengubah fasa cair *feed water* menjadi uap diduga karena keberhasilan dalam dilakukannya *cleaning*. *Cleaning* tersebut berhasil membersihkan deposit yang merupakan penyebab terhambatnya massa aliran dan perpindahan panas dari pipa pemanas ke *feed water*. Setelah deposit hilang, diameter dalam ataupun luas penampang pipa-pipa pemanas HRSG besar yang menyebabkan aliran *feed water* tidak terganggu. Hal ini sesuai dengan hukum kontinuitas dimana luas penampang pipa sebanding dengan nilai aliran massa fluida yang mengalir, semakin besar luas penampang pipa maka aliran massa *feed water* menjadi semakin besar pula. Sedangkan efek perpindahan panas yang terjadi setelah hilangnya deposit yaitu transfer kalor secara konduktifitas dari pipa-pipa pemanas ke *feed water* menjadi lancar tanpa terhalangi oleh adanya deposit. Sebagai faktor pengotor, deposit nilainya selalu berbanding terbalik dengan besarnya perpindahan panas. Dengan demikian energi untuk mengubah fasa cair *feed water* untuk menjadi uap menjadi besar sehingga produksi uap untuk supply ke turbin uap menjadi naik. Dengan naiknya nilai massa alir dan energi untuk mengubah fasa cair *feed water* menjadi uap membuat efisiensi HRSG kembali naik. Kenaikan efisiensi HRSG setelah dilakukan *cleaning* sebesar 89,3%.

## SIMPULAN

Penurunan ataupun peningkatan beban pada pembangkitan listrik gas/uap belum tentu menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi HRSG. Hal ini dikarenakan apabila terjadi penurunan beban, maka terjadi pula penuruna kebutuhan uap pada turbin uap dan pembakaran pada unit turbin gas berkurang. Penurunan efisiensi HRSG disebabkan oleh penurunan massa alir *feed water* di dalam pipa pemanas boiler, terhambatnya perpindahan panas dari pipa pemanas ke *feed water* dan juga terdapat plug yang terjadi pada pipa-pipa pemanas boiler. Setelah dilakukan *cleaning* terjadi perubahan efisiensi pada bulan Desember yaitu sebesar 89.3% dengan begitu efisiensi HRSG mengalami kenaikan sebesar 96%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Burlian, F. and Ghafara, A., 2013. Perancangan Ulang Heat Recovery Steam Generator Dengan Sistem Dual Pressure Melalui Pemanfaatan Gas Buang Sebuah Turbin Gas Berdaya 160 MW. *Jurnal Rekyasa Mesin*, 13(1):21-33.
- Hermawan, D. 2005. Efisiensi *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)* Pada PLTG/U Muara Karang Pada Beban 100%, 75%, dan 50%. *Tugas Akhir*. Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- Kurniawan, R. and Hazwi, M., 2014. Analisa Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Sicanang Belawan. *e-Dinamis*, 10(2).101-107.

- Ilmar, A. and Sandra, A., 2013. Analisis Unjuk Kerja *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)* Pada Pltgu Muara Tawar Blok 5. *Jurnal Mesin Teknologi*, 7(1): 23-31.
- Irwanto, D. 2013. Studi Korosi Pada Pipa Menggunakan Metode Impressed Current Di Petrochina International Jambi.Ltd. *Jurnal Desiminasi Teknologi* 1(2): 198-212.
- Kolluru, R., Dhanasekhar, Y., Kumar M.V.H.S. 2014. Performance of A Heat Recovery Steam Generator. *International Journal Of Engineering Research And Technology (IJERT)*, 3(12): 561-567.
- Marzuki. n.d. Heat Recovery Steam Generator (HRSG) PLTGU Tambak Lorok. Semarang: Indonesia Power
- Nordin, A. and Majid, M.A.A., 2015. Performance Assessment Of Heat Recovery Steam Generator At District Cooling Plant. *Asian Research Publishing Network (ARPN) Journal of Engineering and Applied Science*, 10 (21):10196-10199.
- Pudjanarsa, A., Nursuhud, D. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Andi.
- Ramadhan, A.I., Diniardi, E., Basri, H. and Setyawan, D.T. 2015. Analisis Pengaruh Pemakaian Bahan Bakar Terhadap Efisiensi HRSG KA13E2 di Muara Tawar Combine Cycle Power Plant. *DINAMIKA–Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(1): 1-10.
- Setyoko, B. 2006. Analisa Efisiensi Performa *HRSG (Heat Recovery Steam Generation)* pada PLTGU. *TRAK SI*, 4(2): 56-56.
- Sugiyono. 2015. *Statistika untuk Penelitian*. Bandung: CV Alfabeta.

