

ANALISA HEAT RATE PADA TURBIN UAP BERDASARKAN PERFORMANCE TEST PLTU TANJUNG JATI B UNIT 3

Bachrudin Azis Mustofa, Sunarwo, Supriyo

(1) Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

(2) Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

(3) Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50275, PO BOX 6199 / SMS

Telp. (024) 7473417, 7499585, Faks. (024) 7472396

<http://www.polines.ac.id>, e-mail : secretariat@polines.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Heat rate pada turbin uap berdasarkan performance test. Pengambilan data dilakukan dengan metode observasi di PT PLN (PERSERO) Pembangkit Tanjung Jati B unit 3. Untuk mengetahui nilai Heat rate pada siklus turbin uap digunakan metode perhitungan berdasarkan kesetimbangan massa uap "steam" dan energi dalam "entalpi" yang masuk dan keluar turbin dengan daya keluaran generator (output generator). Efisiensi turbin uap dapat dilihat dari energi panas yang dimasukkan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kwh dan turbine Heat rate. Efisiensi turbin uap dapat juga dihitung dengan membandingkan energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk setiap 1 kwh dengan turbine Heat rate. Hasil analisis yang didapatkan yaitu kurva turbine Heat rate berdasarkan performance test dengan nilai terbaik adalah 7981,97 kJ/kWh, dan terendah 8043,122 kJ/kWh. Untuk kurva efisiensi turbin uap diperoleh nilai tertinggi adalah 45,1 %, dan nilai terendah adalah 44,75 %.

Kata kunci : turbin uap, performance test, turbine Heat rate, efisiensi turbin uap

I. PENDAHULUAN

Energi yang dibutuhkan manusia untuk menunjang kehidupan salah satunya adalah energi listrik. Manusia membutuhkan energi listrik untuk kepentingan rumah tangga, industri serta untuk menunjang sarana prasarana yang lainnya. Kebutuhan hidup manusia semakin lama semakin meningkat, peningkatan kebutuhan manusia juga diikuti dengan kebutuhan energi yang juga semakin meningkat. Energi listrik yang besar serta penggunaannya yang terus menerus tidak dapat tersedia secara alami. Oleh sebab itu dibutuhkan pembangkit listrik yang handal.

PLTU Tanjung Jati B merupakan Unit Pembangkitan Jawa Bali yang dimiliki oleh PT PLN (Persero). PLTU Tanjung Jati B terdiri dari 4 unit, dimana setiap unit mempunyai kapasitas masing-masing 660 MW nett. Dengan beroperasinya 4 unit pembangkit Tanjung Jati B yang masing-masing berkapasitas 660 MW, maka saat ini PLTU Tanjung Jati B berkontribusi terhadap penyediaan energi listrik sebesar 12-13 % dari kebutuhan sistem Jawa – Bali – Madura.

Turbin uap yang digunakan pada PLTU bekerja secara kontinyu untuk menghasilkan daya yang maksimal. Turbin uap yang digunakan pada PLTU Tanjung Jati B adalah jenis *Turbin Tandem-Compound, 4 Cylinders, 4 Flow Exhaust*. Turbin uap merupakan salah satu mesin konversi energi karena dapat mengubah energi kalor menjadi energi mekanik dan selanjutnya energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada generator.

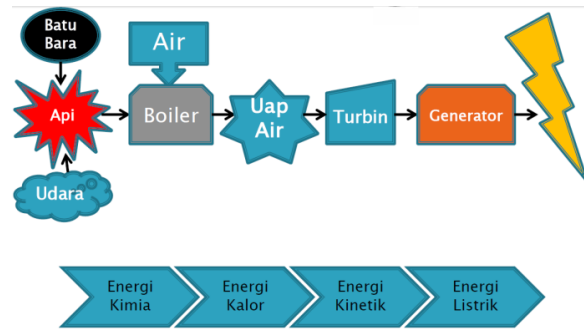
Setiap 6 bulan sekali masing-masing unit PLTU Tanjung Jati B dilakukan *performance test* oleh PT KPJB. *Performance test* tersebut dilakukan untuk mengetahui *Heat rate* unit-unit di PLTU. *Heat rate* dapat dihitung dengan metode *input-output*, *Heat rate* melalui metode efisiensi *boiler* (metode input output dan metode kehilangan panas), *turbine heat rate*, dan *specific fuel consumption* (SFC). Pengujian *Heat rate* dilakukan untuk menentukan proses transaksi niaga pembelian energi listrik sehingga pihak PLN dapat mematok harga untuk setiap kWh

energi listrik yang diproduksi dari PLTU Tanjung Jati B.

Heat rate adalah ukuran dari thermal performance *boiler-turbine-generator* yang dioperasikan secara gabungan sebagai suatu unit. *Heat rate* didefinisikan sebagai jumlah dari energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi listrik selama waktu satu jam. Satuan *Heat rate* adalah kJ/kWh. Sedangkan *Turbine Heat rate* didefinisikan sebagai jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh.

Proses Konversi Energi

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B unit 3 merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara yang memanfaatkan fluida kerja berupa uap (*steam*) untuk menggerakkan turbin yang bertindak sebagai penggerak mula yang kemudian turbin akan memutar rotor generator untuk menghasilkan listrik. Dalam proses produksi listrik, banyak terjadi proses konversi energi. Proses konversi energi sendiri merupakan proses perubahan energi berdasarkan perubahan bentuk dan sifatnya. Berawal dari energi kimia yang terkandung dalam batubara yang dikonversi menjadi energi kalor dalam proses pembakaran. Kemudian dikonversi lagi menjadi energi kinetik berupa aliran uap (*steam*), selanjutnya dikonversi menjadi energi mekanik melalui putaran turbin dan pada proses akhirnya energi mekanik tersebut dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator. Pembangkit listrik tenaga uap termasuk dalam kategori "thermal plant", karena pembangkit listrik ini memanfaatkan panas hasil pembakaran bahan bakar batubara dan udara di dalam *furnace* yang kemudian digunakan untuk memanaskan pipa-pipa berisi air/uap di dalam *boiler*.



Gambar 1.1. Proses Konversi Energi PLTU

Proses konversi energi yang terjadi di dalam *boiler*, bahan bakar yang dimasukkan ke dalam *boiler* digunakan dalam proses pembakaran dan pemanasan air akan mengubah air umpan *boiler* menjadi uap atau *steam*. Uap tersebut masih dipanaskan lagi dan dinaikkan tekanannya dengan pemanasan lanjutan sehingga dihasilkan uap *superheat* atau uap kering sehingga uap tersebut memiliki energi yang cukup untuk memutar turbin. Berikut gambar 2.2 yang menggambarkan T-S diagram siklus *rankine* pada PLTU Tanjung Jati B Unit 3. Uap yang keluar dari turbin kemudian masuk dalam kondensor untuk diubah fasanya menjadi air kembali. Setelah itu, air tersebut dipompa kembali ke *boiler* untuk dipanaskan dan diubah menjadi uap guna memutar turbin lagi.

Turbin Uap PLTU Tanjung Jati B Unit 3

Turbin uap yang digunakan pada PLTU Tanjung Jati B Unit 3 merupakan turbin uap dengan sistem *reheat*/pemanasan ulang dan pengkondensasian uap keluar turbin atau yang dikenal dengan jenis turbin uap *Tandem Compound Reheat Condensing Turbine*. Turbin Uap PLTU Tanjung Jati B Unit 3 juga merupakan jenis turbin ekstraksi, karena sebagian uap dari tiap-tiap tingkatan turbin diekstraksi untuk memanaskan air umpan/*feed water heater*, sehingga tidak semua uap hasil pemanasan di *boiler* digunakan untuk memutar turbin, melainkan sebagian uapnya diekstraksi sebagai pemanasan awal air umpan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem dengan menghemat konsumsi bahan bakar *boiler*. PLTU Tanjung Jati B unit 3 menggunakan

turbin dengan 3 tingkat tekanan, yakni *high pressure turbine* (HP turbin), *intermediate pressure turbine* (IP turbin) dan *low pressure turbine* (LP turbin). Pada dasarnya turbin uap terdiri dari dua komponen utama yaitu rotor dan stator, komponen lainnya seperti bantalan, kopling, *turbine valve*, *main oil pump*, *oil deflector* serta komponen pendukung lainnya agar kerja dari turbin optimal sesuai kebutuhan.

Secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut :

1. Uap masuk kedalam turbin melalui nosel. Didalam nosel energi thermal (kalor) dari uap diubah menjadi energi kinetik dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan memutar roda dan poros turbin.

2. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetik yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak. Maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.

3. Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetik yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin

menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.

Turbine Heat rate

Turbine heat rate adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memproduksi listrik sebesar 1 kWh. Dan dinyatakan dalam (kJ/kWh). Turbine heat rate menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik nett yang dihasilkan oleh generator. Dan dinyatakan dalam (kJ/kWh).

Turbine Heat Rate Turbin dapat dikalkulasi dengan persamaan :

$$HR_T = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_f \times h_f + \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_{is} \times h_{is})}{P_g - P_{exc}}$$

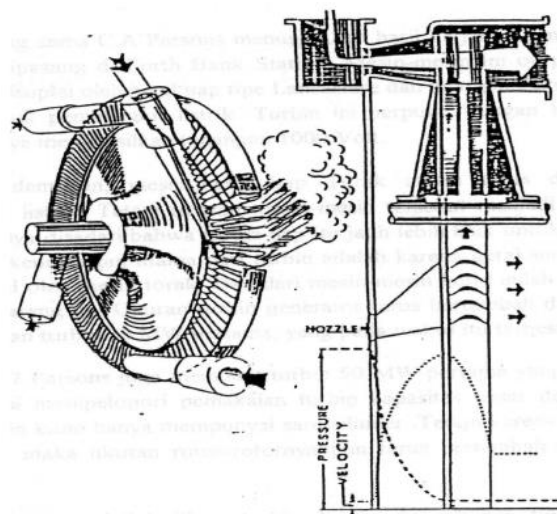
Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin merupakan parameter yang menyatakan derajat keberhasilan komponen atau sistem turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan %.

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan

$$\eta_{turbin} = \frac{\text{Energi Kalor dalam 1 kWh}}{\text{Heat Rate Turbin}} \times 100\%$$

2. METODE PENELITIAN



Gambar 2.1 Prinsip kerja turbin uap

Metode ini dilakukan dengan pengamatan dan pengumpulan data untuk merndapatkan data yang diperlukan yaitu parameter data yang digunakan untuk menentukan *turbine heat rate*. Parameter data *Turbine Heat rate* yaitu temperatur, tekanan, dan laju aliran massa uap utama (*main steam*), temperatur dan tekanan uap masuk pemanas ulang (*cold reheat*), temperatur dan tekanan uap keluar pemanas ulang (*hot reheat*), temperatur, tekanan, dan laju aliran massa *superheater spray water*, temperatur, tekanan, dan laju aliran massa air umpan (*final feed water*), dan *generator gross output*, yang didapatkan dari ruang kontrol PLTU Tanjung Jati B Unit 3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dipakai dalam perhitungan nilai turbine heat rate berdasarkan performance test keempat yaitu pada bulan desember 2013 pada beban 100% ECR.

Tabel 3.1 Parameter *turbine heat rate*

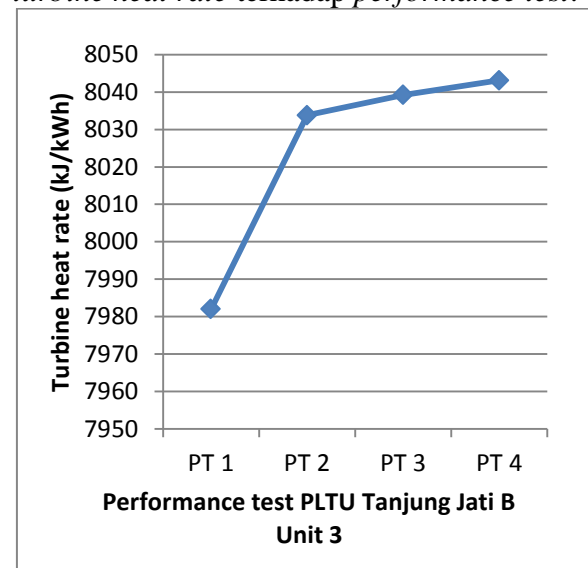
Item	Pres sure (Bar)	Tempe rature (°C)	Enthalpy (kJ/kg)	Flow (kg/h)
Main steam [Ms]	167,1 5	53183	3380,89	2.210.957
Feed Water [FW]	188,4 3	288,49	1274,66	2.203.561,9
Cold Reheat [CRH]	40,38	330,71	3043,59	1.836.567
Hot Reheat [HRH]	36,74	542,29	3545,73	1.836.567
Super Heater Spray [DSH]	203,2 9	173,10	743,55	7.472,1

Dengan cara yang sama perhitungan turbine heat rate pada performance test 1,2, dan 3 lainnya mempunyai hasil seperti tabel 3.2 .

Tabel 3.2 Turbine heat rate berdasarkan performance test

No	Performance test	Turbin heat rate (kcal/kWh)	Turbin heat rate (kJ/kWh)
1.	Performance test 1 st (juni 2012)	1918,322	7981,97
2.	Performance test 2 nd (desember 2012)	1927,495	8033,789
3.	Performance test 3 rd (juni 2013)	1928,802	8039,232
4.	Performance test 4 rd (desember 2013)	1929,733	8043,122

Dari data hasil perhitungan pada table 3.2 maka dapat dibuat grafik untuk memudahkan menganalisisnya. Gambar 3.1 dibawah ini menggambarkan grafik hubungan antara *turbine heat rate* terhadap *performance test*.



Gambar 4.1 grafik hubungan antara *turbine heat rate* terhadap *performance test*.

Dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa nilai *turbine heat rate* mengalami kenaikan dari *performance test* pertama sampai *performance tes* keempat. Kenaikan *turbine heat rate* tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai *turbine heat rate*

dari *performance test* pertama pada juni 2012 sampai dengan *performance test* terakhir yaitu pada desember 2013 selalu mengalami kenaikan. Pengujian *turbine heat rate* di lakukan pada beban 100 % ECR atau beban penuh. Kenaikan nilai *turbine heat rate* menunjukkan kinerja dari turbin uap mengalami penurunan. Dari *performance test* pada bulan juni 2012 nilai *turbine heat rate* adalah 7981,97 kJ/kWh, data tersebut mengalami kenaikan pada *performance test* selanjutnya pada bulan desember 2012 yaitu sebesar 8033,789 kJ/kWh, selanjutnya nilai *turbine heat rate* kembali mengalami kenaikan pada *performance test* pada bulan juni 2013 dan bulan desember 2013 yaitu sebesar 8039,232 kJ/kWh dan 8043,122 kJ/kWh. Kenaikan tersebut dipengaruhi oleh kinerja turbin yang semakin menurun dari tahun ke tahun.

Kinerja turbin uap dipengaruhi oleh massa dan entalpi dari *steam* yang digunakan sebagai fluida kerja untuk memutar turbin hal itu dilihat dari sisi energinya. Semakin besar energi input yang masuk ke dalam turbin maka kinerja turbin akan semakin baik, dan semakin kecil energi input yang masuk ke dalam turbin maka kinerja turbin juga semakin jelek, selain itu kevakuman kondensor juga mempengaruhi kinerja dari turbin uap, dimana semakin besar kevakuman kondensor maka kinerja dari turbin uap juga semakin baik, namun juga dilihat dari sisi titik embun *steam* karena jika kevakuman kondensor semakin tinggi maka *steam* akan berubah menjadi titik-titik embun dan hal ini sangat berbahaya bagi turbin. Adanya *feedwater heater* juga berpengaruh pada kinerja dari turbin karena *feedwater heater* menggunakan ekstraksi uap dari turbin dimana *heater* ini berfungsi untuk pemanasan awal air umpan.

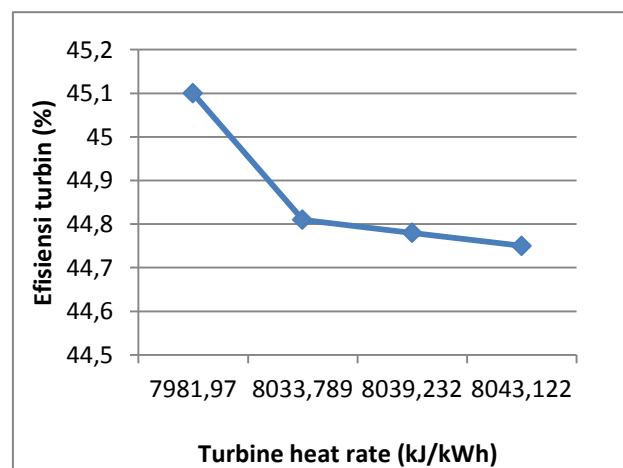
Turbine Heat Rate menunjukkan jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh. Kinerja dari turbin uap dapat dilihat dari nilai *turbine heat rate*-nya dimana semakin kecil nilai *turbine heat rate* maka semakin baik kinerja dari turbin uap tersebut. Hal tersebut dapat dilihat dari efisiensi siklus turbin. Pada

dasarnya efisiensi siklus turbin uap berbanding terbalik dengan nilai *turbine heat rate* yang berarti semakin kecil *turbine heat rate* maka efisiensi siklus turbin semakin baik, begitu juga sebaliknya semakin besar *turbine heat rate* maka efisiensi siklus turbin semakin kecil.

Tabel 3.3 Efisiensi turbin berdasarkan *performance test* 1st-4rd

NO	Performace test	Turbin Heat Rate (kJ/kWh)	Efisiensi Turbin
1	Performance test 1 (Juni 2012)	7981,91	45,1 %
2	Performance test 2 (Desember 2012)	8033,789	44,81 %
3	Performance test 3 (Juni 2013)	8039,232	44,78 %
4	Performance test 4 (Desember 2013)	8043,122	44,75 %

Dari data hasil perhitungan pada table 3.3 maka dapat dibuat grafik untuk memudahkan menganalisisnya. Gambar 3.2 dibawah ini menggambarkan grafik hubungan antara efisiensi turbin terhadap *turbine heat rate*.



Gambar 3.2 Grafik hubungan efisiensi turbin terhadap *turbine heat rate*

Berdasarkan grafik 3.2 mengenai efisiensi turbin uap pada PLTU Tanjung Jati

B Unit 3, dapat dianalisa bahwa efisiensi turbin pada performance test pertama pada bulan juni 2012 adalah sebesar 45,1 %. Kemudian pada *performance test* kedua bulan desember 2012 efisiensi turun sebesar 0,29 % menjadi 44,81 %. Kemudian pada *performance test* ketiga yaitu pada bulan juni 2013 efisiensi turbin turun sebesar 0,03 % menjadi 44,78 %. Kemudian pada *performance test* keempat bulan desember 2013 efisiensi turbin kembali turun sebesar 0,03 % menjadi 44,57 %. Penurunan efisiensi turbin disebabkan terjadinya kenaikan pada *turbine heat rate*.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *turbine heat rate* PLTU Tanjung Jati B Unit 3 berdasarkan *performance test* pada bulan juni 2012 adalah 7981,97 kJ/kWh, bulan desember 2012 adalah 8033,789 kJ/kWh, bulan juni 2013 adalah 8039,232 kJ/kWh, dan pada bulan desember 2013 adalah 8043,122 kJ/kWh.
2. Nilai *turbine heat rate* terendah (terbaik) terjadi pada bulan juni 2012 dengan nilai 7981,97 kJ/kWh. Sedangkan nilai *turbine heat rate* tertinggi (terjelek) terjadi pada bulan juni 2013 dengan nilai 8043,122 kJ/kWh.
3. Efisiensi turbin PLTU Tanjung B Unit 3 berdasarkan *performance test* pada bulan juni 2012 adalah 45,1 %, bulan desember 2012 adalah 44,81 % , bulan juni 2013 adalah 44,78 % , dan pada bulan desember 2013 adalah 44,75 %.
4. *Turbine heat rate* berbanding terbalik dengan efisiensi, yang artinya semakin rendah *turbine heat rate* maka efisiensi akan semakin baik, dimana nilai *turbine heat rate* terendah yaitu 7981,97 kJ/kWh dengan efisiensi turbin 45,1 %, dan nilai *turbine heat rate* tertinggi yaitu 8043,122 kJ/kWh dengan efisiensi turbin 44,75 %.

http://site.geenergy.com/prod_serv/products/tech_docs/en/downloads/ger4190.pdf (15 Juni 2014)

Boles, Michael A and Yunus A Cengel. 2002.

Thermodynamics: An Engineering

El-Wakil, 1992. “*Instalasi Pembangkit Daya*”. Jakarta: Erlangga

Haris. 2011. Turbin Uap.

<http://desainharis.files.wordpress.com/2011/09/turbin-uap.pdf>. (15 Juni 2014)

Marsudi Djiteng, 2011. “*Pembangkitan Energi Listrik*”. Jakarta: Erlangga

Sentosa, Dian Swastatika. 2008. Session 17 *Steam Turbine Theori*.

<http://febriantara.files.wordpress.com/2008/11/sesi-17.pdf>. (17 juni 2014)

Yahya, S. Turbin Uap.

http://bse.kemdiknas.go.id/buku/20080820190042/pdf/02_bab_15.pdf. (15Juni 2014)

DAFTAR PUSTAKA

Albert, Paul. *Steam Turbine Thermal Evaluation And Assessment*.