

Audit Energi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Menggunakan Standar Internasional

Aditya Budi Nugraha*

Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya, Indonesia

*Email: aditya.budi@umtas.ac.id

Abstract. *In this study an unofficial energy audit was carried out at PLTP X. Energy audits were carried out on turbine devices because they were considered to be the most important component in electricity generation. The audit implementation step refers to the energy audit technical guidelines from the Ministry of Industry. Meanwhile, the method used refers to the standard published by ASME (American Society of Mechanical Engineering), namely in the form of PTC (Performance Test Codes) 6. In the process of retrieving parameter data the data obtained is mass flow rate, turbine intake pressure, condenser pressure, temperature turbine entry, gross electrical power, pressure before scrubber, temperature before scrubber and specific steam consumption (SSC). The results obtained are the value of the steam rate and heat rate which are the performance parameters of the PLTP turbine. The actual steam rate is 6.80 kg / kWh and the actual heat rate is at 18,883.71 kJ / kWh, while the steam rate and heat rate from the data after the first overhaul are at 6.72 kg / kWh and 18,682.14 kJ / kWh. With the value obtained, it can be said that the performance of this turbine is good.*

Keywords. *Energy Audit, Turbine, Geothermal, and Asme*

Abstrak. Dalam penelitian ini telah dilakukan audit energy tidak resmi di PLTP X. Audit energy dilakukan pada perangkat turbin karena dinilai merupakan komponen terpenting dalam pembangkitan listrik. Langkah pelaksanaan audit mengacu kepada pedoman teknis audit energi dari Kementerian Perindustrian. Sedangkan, metode yang digunakan mengacu kepada standar yang diterbitkan oleh ASME (*American Society of Mechanical Engineering*) yaitu berupa PTC (*Performance Test Codes*) 6. Dalam proses pengambilan data parameter data yang diperoleh adalah laju alir massa, tekanan masuk turbin, tekanan kondensor, temperatur masuk turbin, daya listrik gross, tekanan sebelum scrubber, temperature sebelum scrubber dan specific steam consumption (SSC). Hasil yang diperoleh adalah nilai steam rate dan heat rate yang merupakan parameter kinerja turbin PLTP. Steam rate aktual berada pada nilai 6.80 kg/kWh dan heat rate aktual berada pada nilai 18.883.71 kJ/kWh, sedangkan *steam rate* dan *heat rate* dari data setelah overhaul pertama berada pada nilai 6,72 kg/kWh dan 18.682,14 kJ/kWh. Dengan nilai yang diperoleh, dapat dikatakan bahwa kinerja turbin ini baik.

Kata Kunci. Audit Energi, Turbin, Panas Bumi, dan Asme

1. Pendahuluan

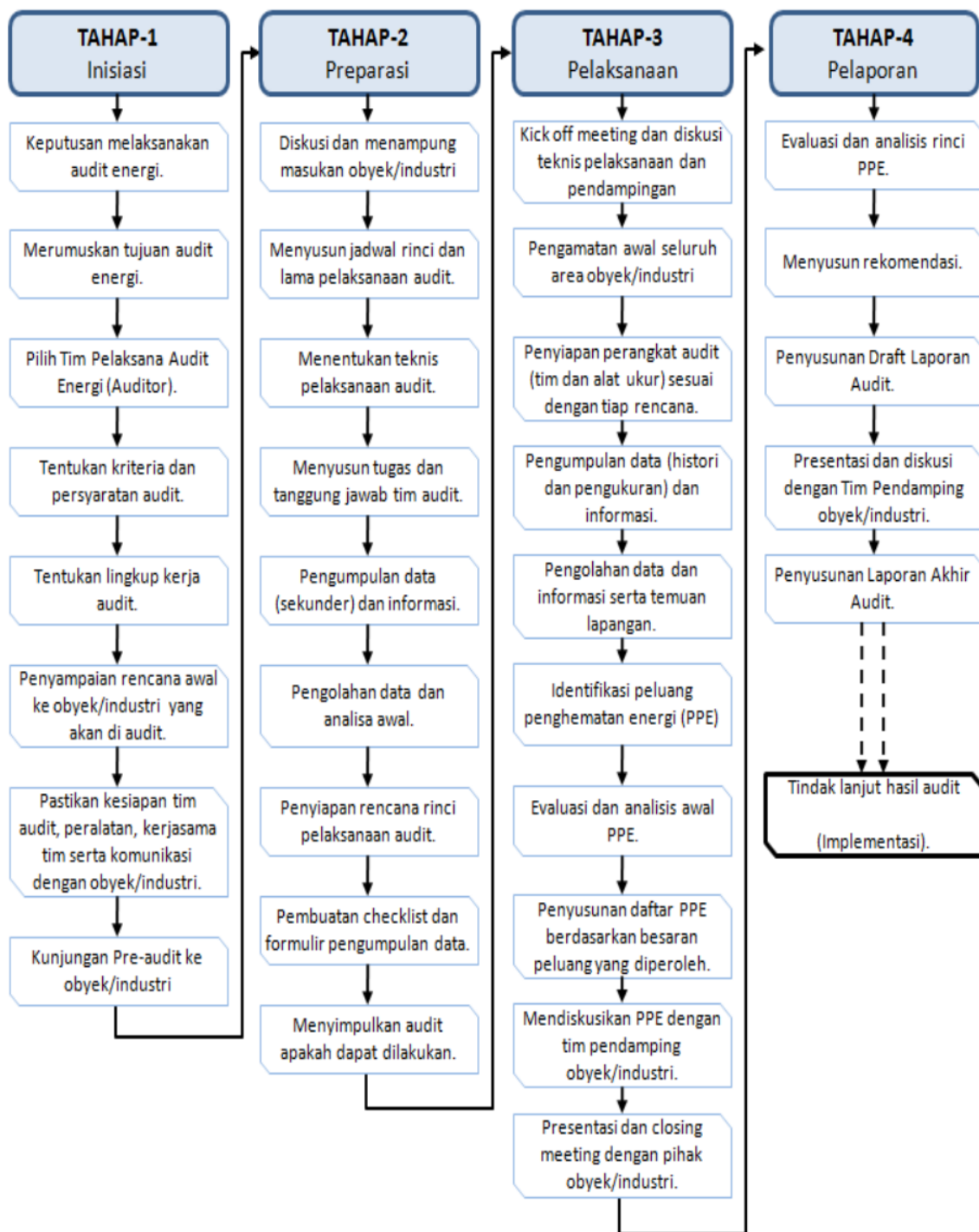
Kebutuhan konsumsi listrik Indonesia pada tahun 2031 adalah 1075 TWh, sedangkan konsumsi listrik di tahun 2012 adalah 171 TWh [1-3]. Salah satu cara agar pemakaian energi berjalan dalam jangka waktu yang lama adalah dengan meningkatkan efisiensi energi. Agar dapat meminimalkan *loses* dan meningkatkan efisiensi energi maka dilakukanlah evaluasi atau kegiatan audit energi. Audit energi sudah menjadi kegiatan nasional yang diwajibkan pemerintah. Hal ini sesuai dengan Undang-undang nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Selain itu, pemerintah juga mewajibkan kegiatan audit energi melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 05 Tahun 2011 mengenai Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan

Lingkungan Hidup. Mengingat standar nasional audit energi di Indonesia belum ada maka digunakanlah standar audit energi dari ASME (*American Society of Mechanical Engineering*) [4].

Kegiatan audit energi dimulai dari survey data sederhana sampai dengan pengujian data yang dilakukan secara rinci, setelah survey data dilakukan selanjutnya data digabung dengan data uji coba yang dilakukan secara khusus dengan mengikuti standar operasional prosedur atau pedoman mengenai pengujian, selanjutnya gabungan data tersebut dirancang untuk menghasilkan data yang baru. Lama pelaksanaan audit tergantung dari besar dan jenis fasilitas industri yang diaudit dan tujuan dari audit itu sendiri [5-6].

Audit energi terbagi ke dalam dua jenis, yaitu Audit Energi Awal (AEA) dan Audit Energi Terperinci (AET). AEA dilaksanakan dalam waktu satu atau dua hari untuk instalasi industri sederhana, namun untuk instalasi industri yang kompleks diperlukan waktu yang lebih lama. AEA sangat bermanfaat untuk mengenali sumber-sumber pemborosan energi dan tindakan-tindakan sederhana yang dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi energi dalam jangka pendek. Contohnya, tindakan yang dapat diidentifikasi dengan mudah seperti hilang atau cacatnya insulasi. AEA juga mengungkapkan kurang sempurnanya pengumpulan data dan penyimpangan analisa data, dan area dimana pengawasan manajemen perlu diperketat. Hasil dari AEA adalah rekomendasi mengenai tindakan berbiaya rendah yang segera dapat dilaksanakan dan rekomendasi audit yang lebih ekstensif untuk menguji lebih teliti area industri yang terpilih [7].

AET dilakukan setelah AEA. Dalam AET dilakukan pengumpulan data, pengukuran parameter operasi untuk audit energi pada peralatan operasi. Jenis uji yang dilakukan selama AET mencakup uji efisiensi, pengukuran temperatur, penentuan penurunan faktor daya yang disebabkan oleh berbagai peralatan listrik, dan uji sistem proses untuk operasi yang berada dalam cakupan spesifikasi. Hasil akhir AET adalah berupa laporan terperinci yang memuat rekomendasi yang disertai dengan manfaat dan biaya terkait serta program pelaksanaannya. AEA diharapkan dapat mengidentifikasi 10% nilai penghematan, sedangkan AET seringkali mencapai nilai penghematan sebesar 20% atau lebih untuk jangka menengah dan panjang. Tujuan dari audit energi tidak resmi ini adalah untuk mendapatkan kinerja actual PLTP yang dihitung berdasarkan standar yang berlaku dan memberikan rekomendasi perbaikan jika kinerjanya kurang baik.



Gambar 1 Bagan Alir Pelaksanaan Audit Energi [5]

Gambar 1 merupakan alur kegiatan audit energi yang terdiri dari 4 tahapan yaitu inisiasi, preparasi, pelaksanaan dan pelaporan. Pada kegiatan penelitian ini semua tahapan secara umum telah dilaksanakan namun terdapat dikarenakan penelitian ini merupakan audit tidak resmi sehingga tidak terdapat penyusunan laporan akhir audit energi.

2. Tinjauan Audit Energi

Kegiatan audit energi dimulai dari survey data sederhana sampai dengan pengujian data yang dilakukan secara rinci, setelah survey data dilakukan selanjutnya data digabung dengan data uji coba yang dilakukan secara khusus dengan mengikuti standar operasional prosedur atau pedoman mengenai pengujian, selanjutnya gabungan data tersebut dirancang untuk menghasilkan data yang baru. Lama pelaksanaan audit tergantung dari besar dan jenis fasilitas industri yang diaudit dan tujuan dari audit itu sendiri. Audit energi terbagi ke dalam dua tipe:

- a. Audit Energi Awal (AEA)
- b. Audit Energi Terperinci (AET)

Kegiatan audit energi dimulai dari survey data sederhana sampai dengan pengujian data yang dilakukan secara rinci, setelah survey data dilakukan selanjutnya data digabungkan dengan data uji coba yang dilakukan secara khusus yang mengikuti standar operasional prosedur atau pedoman mengenai pengujian, selanjutnya gabungan data tersebut dirancang untuk menghasilkan data yang baru. Lama pelaksanaan bergantung pada besar dan jenis fasilitas industri yang diaudit dan tujuan dari audit itu sendiri.

Survey awal audit energi atau disebut juga Audit Energi Awal (AEA) dilaksanakan dalam waktu satu atau dua hari untuk instalasi industri sederhana, namun untuk instalasi industri yang kompleks diperlukan waktu yang lebih lama. AEA terdiri dari dua bagian, yaitu:

- a. Survey manajemen energi. Survey ini dilakukan surveyor atau auditor energi yang mempunyai sertifikasi sebagai auditor dan memahami kegiatan manajemen energi yang sedang berlangsung dan kriteria putusan investasi yang mempengaruhi proyek konservasi energi.
- b. Survey energi (teknis). Survey ini juga dilakukan oleh surveyor atau auditor dan mengulas mengenai kondisi dan operasi peralatan dari pemakai energi (misalnya turbin) serta instrumentasi yang berkaitan dengan efisiensi energi. AEA dilakukan dengan menggunakan sesedikit mungkin instrumentasi *portable*. Sehingga, auditor akan bertumpu pada pengalamannya dalam mengumpulkan data yang relevan dan melakukan observasi yang tepat, sehingga dapat memberikan diagnosa situasi energi secara cepat.

AEA sangat bermanfaat untuk mengenali sumber-sumber pemborosan energi dan tindakan-tindakan sederhana yang dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi energi dalam jangka pendek. Contohnya, tindakan yang dapat diidentifikasi dengan mudah seperti hilang atau cacatnya insulasi, kebocoran uap, peralatan yang tidak dapat digunakan, dll. AEA juga sebaiknya mengungkapkan kurang sempurnanya pengumpulan data dan penyimpangan analisa data, dan area dimana pengawasan manajemen perlu diperketat. Hasil dari AEA adalah rekomendasi mengenai tindakan berbiaya rendah yang segera dapat dilaksanakan dan rekomendasi audit yang lebih ekstensif untuk menguji lebih teliti area industri yang terpilih.

Setelah dilakukannya AEA maka dilakukanlah Audit Energi Terperinci (AET). Selain pengumpulan data, instrumentasi *portable* juga digunakan untuk mengukur parameter operasi untuk audit energi pada peralatan operasi. Jenis uji yang dilakukan selama AET mencakup uji efisiensi, pengukuran temperatur, penentuan penurunan faktor daya yang disebabkan oleh berbagai peralatan listrik, dan uji sistem proses untuk operasi yang berada dalam cakupan spesifikasi.

Setelah mendapatkan hasil pengujian, selanjutnya auditor energi menganalisa hasil tersebut melalui kalkulasi dengan menggunakan materi pendukung seperti tabel atau bagan. Kemudian hasil uji tersebut digunakan untuk menyusun neraca energi, dimulai dari setiap peralatan yang diuji dan seluruh instalasi industri. Dari neraca energi inilah ditentukan efisiensi peralatan dan ada tidaknya peluang penghematan energi. Setelah itu, dilakukan pengujian lebih rinci terhadap setiap peluang penghematan energi, perkiraan biaya dan manfaat dari pilihan-pilihan yang telah ditentukan.

Hasil akhir AET adalah berupa laporan terperinci yang memuat rekomendasi yang disertai dengan manfaat dan biaya terkait serta program pelaksanaannya. Sebagai petunjuk kasar, audit energi awal diharapkan dapat mengidentifikasi 10% nilai penghematan, yang secara umum dicapai melalui tindakan *house keeping* pada instalasi industri atau tindakan lain yang memerlukan modal kecil. Audit

energi terperinci seringkali mencapai nilai penghematan sebesar 20% atau lebih untuk jangka menengah dan panjang.

2.1 Tujuan audit energi

Tujuan audit energi adalah mendapatkan potensi penghematan energi pada sarana/fasilitas produksi dan peralatan pengguna energi dan untuk mengetahui pola penggunaan energi dan pola potensi penghematan energi. Sasaran yang hendak dicapai adalah:

- a. Menurunnya intensitas penggunaan energi di industri.
- b. Meningkatkan peran serta industri dalam konservasi energi.
- c. Pengurangan ketergantungan terhadap BBM.
- d. Pengurangan pencemaran yang dapat merusak kualitas lingkungan.
- e. Peningkatan efisiensi penggunaan energi dalam kegiatan produksi.

2.2 Metodologi pelaksanaan

2.2.1 Metode 5W + 1H sebagai berikut;

- a. *Where*, untuk menemukan sumber yang berpotensi terjadi pemborosan energi.
- b. *What*, untuk mengidentifikasi apakah penyebab pemborosan.
- c. *Why*, untuk mengidentifikasi mengapa hal tersebut terjadi.
- d. *Who*, untuk mengidentifikasi siapa yang menjadi “aktor utama” terjadinya pemborosan. Identifikasi dilakukan berdasarkan 5M (*Man/Manpower, Machine, Material, Method, Mother Nature*/lingkungan kerja).

2.2.2 *Metode penghematan dan pengukuran*. Metode ini dilakukan melihat efektivitas, dan performa operasi peralatan. Data primer berupa pengamatan langsung dan hasil pengukuran dan data sekunder berupa *log-sheet* dan hasil wawancara. Data-data ini sangat diperlukan untuk membantu dalam analisa Neraca Massa dan Energi (*Heat & Mass Balance*). Hasil pengukuran berdasarkan pertimbangan peningkatan efektivitas dan efisiensi peralatan hal ini untuk menghindari terjadinya penurunan performa akibat kegiatan efisiensi energi.

2.3 Prosedur dan teknis pelaksanaan

Berikut ini langkah-langkah/prosedur yang perlu dilakukan:

- a. Inisiasi kegiatan audit.
- b. Penyiapan/preparasi pelaksanaan audit.
- c. Pelaksanaan audit.
- d. Evaluasi dan pelaporan.

Gambar di bawah ini merupakan bagan alir pelaksanaan audit. Tahap 1 dan Tahap 2 merupakan tahapan yang dilakukan oleh calon auditor sampai pada kesimpulan apakah audit dapat dilakukan secara keseluruhan atau hanya dapat dilakukan pada beberapa bagian berdasarkan evaluasi awal.

Setelah mendapatkan keputusan bahwa pelaksanaan audit akan dilakukan, maka perlu ditentukan berbagai langkah/prosedur pelaksanaan. Prosedur berikut merupakan prosedur yang secara umum digunakan untuk pelaksanaan audit energi.

2.3.1 *Langkah pertama*. Perencanaan keseluruhan kegiatan audit yang akan dilakukan. Tindakan ini mencakup penentuan tujuan audit, pembagian fasilitas industri yang menjadi bagian pelaksanaan, pemilihan anggota tim audit berikut tanggung jawabnya, dan pemilihan instrumen yang diperlukan.

2.3.2 Langkah kedua

Inisiasi pertemuan dan diskusi teknis dengan tim pendamping industri yang menjadi objek audit.

2.3.3 *Langkah ketiga*. Pengamatan singkat terhadap lapangan (*walk through survey*) yang sekaligus melakukan *in house training* terhadap tim pendamping industri yang menjadi objek audit.

2.3.4 *Langkah keempat.* Pengumpulan data pemakaian energi dan data produksi yang diambil dari bagian tertentu. Jika diperlukan dapat dilakukan uji coba peralatan untuk mendapatkan data tambahan mengenai cara kerja dari peralatan khusus tertentu.

2.3.5 *Langkah kelima.* Pengolahan data dan evaluasi untuk mendapatkan neraca/balans energi, neraca/balans massa, intensitas energi serta mengidentifikasi peluang penghematan energi (PPE). Hasil identifikasi PPE ini selanjutnya dianalisis untuk menghasilkan daftar PPE berdasarkan besaran penghematan yang mungkin diperoleh.

2.3.6 *Langkah keenam.* Presentasi dan diskusi dengan tim pendamping industri objek terhadap berbagai temuan hasil dari PPE. Langkah ini sekaligus untuk klarifikasi berbagai data dan informasi sehingga ketika saat analisis rinci hal tersebut dilakukan dengan basis data dan informasi yang benar dan dapat diterima oleh kedua belah pihak (objek dan auditor).

2.3.7 *Langkah ketujuh.* Melakukan evaluasi dan analisis rinci terhadap PPE.

2.3.8 *Langkah kedelapan.* Menyusun laporan audit energi mencakup berbagai rekomendasi PPE dan manajemen energi yang selanjutnya disampaikan kepada industri yang menjadi objek audit.

3. Metode Penelitian

Standar yang digunakan untuk evaluasi turbin adalah ASME PTC 6, standar ini menyediakan prosedur untuk pengukuran turbin yang akurat dan direkomendasikan untuk digunakan dalam pengujian dengan tingkat ketidakpastian minimum. Parameter yang dapat ditentukan dari standar ini antara lain:

- a. *heat rate*
- b. *generator output*
- c. *steam rate*
- d. *steam flow*
- e. *feedwater flow* (untuk turbin PLTU & PLTN)

Selain hal yang disebutkan di atas, terdapat prosedur dan teknik yang diperlukan untuk menentukan nilai entalpi pada area *moisture*. Terdapat dua jenis tes/pengujian yang dilakukan, yaitu [8]:

- a. Tes Skala Penuh (*full scale test*)
- b. Tes Alternatif (*alternative test*)

3.1 Tes Skala Penuh

Tes ini memerlukan pengukuran dan perhitungan siklus thermal yang luas yang menyediakan informasi detail/rinci secara individu mengenai performa turbin *High Pressure, Low Pressure, Intermediate Pressure*.

3.2 Tes Alternatif

Tes ini melaksanakan pengukuran yang lebih sedikit dibandingkan Tes Skala Penuh, dan lebih banyak menggunakan kurva koreksi untuk penyesuaian siklus dan performa. Data yang diperoleh dari tes ini mempunyai ketidakpastian sedikit lebih tinggi terutama jika terdapat perbedaan substansial antara pengujian dan penentuan siklus. Pihak-pihak yang berkaitan dalam hal ini pihak yang mengevaluasi dan dievaluasi (auditor dan objek) harus membuat suatu kesepakatan jika turbin gagal memenuhi kinerja yang ditetapkan. Selain itu, tes ini tidak memeberikan gambaran kinerja komponen secara individu dibanding dengan yang diharapkan, karena pengukuran hanya perlu menghitung tes *heat rate* dan ijin perbandingan untuk kondisi khusus yang diperlukan.

Pengujian harus dilakukan dengan ketat dan kepatuhan terhadap ketentuan kode etik. Namun, keterbatasan peralatan dapat menyebabkan pihak yang berkaitan tidak dapat memenuhi salah satu atau lebih persyaratan karena berbenturan dengan kondisi lain yang ditetapkan oleh ketentuan. Dalam kasus ini, kesepakatan antara pihak-pihak yang berkaitan harus dapat menangani hal tersebut.

Hasil uji skala penuh dinyatakan sebagai "*heat rate*". Berikut ini merupakan nilai ketidkpastiannya:

- a. Ketidak pastian untuk siklus reheat fossil fuel skala penuh yaitu 0.25 dan untuk tes alternatifnya adalah 1/3% (0.333%).
- b. Pengujian turbin uap yang beroperasi dominan pada bagian *moisture* ketidak pastiannya adalah 3/8% (0.375%) untuk tes skala penuh dan 0.5% untuk tes alternatif.

Turbin PLTP menggunakan nilai ketidak pastian yang kedua yaitu sebesar 0.375% untuk tes skala penuh dan 0.5% untuk tes alternatif.

4. Hasil dan Analisis

Data yang dipergunakan merupakan data desain dan data *real* dari PLTP X. Perhitungan audit energi untuk keseluruhan peralatan biasanya dilakukan oleh tim, hal ini karena kegiatan dan perhitungan yang dilakukan mencakup berbagai komponen sehingga akan memakan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu dalam pengolahan dan analisa data difokuskan pada perhitungan turbin dan generator dengan menggunakan ASME PTC 6. Berikut ini merupakan data desain dari turbin dan generator PLTP X yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Data Desain Turbin

Kondisi	Performa garansi turbin
Output pembangkitan kotor	63 MW
Laju alir massa	116.25 kg/s *,**
Tekanan masuk	11 bara*
Temperatur masuk	Saturasi*
NCT dalam uap (desain),	1.7 % berat
Kecepatan	3000 rpm
Tekanan keluar	0.16 bara *
Kecepatan aliran uap maksimum	50 m/s

Catatan:

* kondisi garansi

** termasuk NCG dan *gland sealing steam*

Turbin mampu untuk beroperasi dengan tekanan inlet antara 8 s/d 12 bara.

Tabel 2 Data Desain Generator

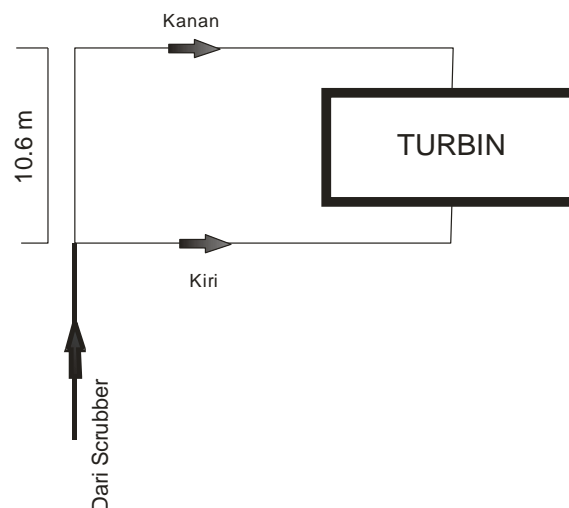
Nameplate	Keadaan Garansi
Rating	80 MVA
<i>Short circuit ratio</i> (tidak boleh kurang dari)	0.5
Faktor daya – <i>lagging</i>	0.8
Tegangan	13.8 kV
Kecepatan	3000 rpm
Fase	3
Frekuensi	50 Hz
<i>Excitation speed of response</i>	0.5

Jika melihat data yang diperoleh dari PLTP dan melihat parameter di atas, parameter yang mungkin untuk dihasilkan dari perhitungan adalah *heat rate* dan *steam rate*. *Generator output* dan *steam flow* sudah tersedia di dalam data. Parameter data yang diperoleh adalah data mengenai *generator output*, *steam flow*, *condenser pressure*, *inlet turbine pressure*, dan *temperature inlet turbine*. Data tersebut diperoleh dari hasil pembacaan instrumen di PLTP. Data yang berhasil diperoleh berdurasi selama 6 bulan, durasi tersebut merupakan durasi yang cukup untuk melihat ke konsistenan atau tidak konsistenan data. Menurut data yang diperoleh terdapat hal yang menarik, yaitu:

- a. Adanya perbedaan tekanan dan temperatur dari *inlet turbine* kiri dan *inlet turbine* kanan. Perbedaan tekanan berada pada nilai ± 0.05 bar.

- b. Nilai temperatur data berbeda pada sisi kiri dan kanan yaitu $\pm 2^{\circ}\text{C}$, dan nilai temperature tersebut juga lebih tinggi daripada temperatur saturasi..

Pada umumnya temperatur dan tekanan di *inlet turbine* di bagian kiri dan kanan sama. Namun, desain pipa pada *inlet* di PLTP ini memang agak berbeda, skema *inlet* terdapat pada **Gambar 2**. Pada umumnya percabangan dari pipa utama menuju turbin mempunyai panjang yang sama baik itu pada sisi kiri dan kanan, namun tidak pada PLTP X. Dari data yang diperoleh tekanan pada sisi kiri sedikit lebih kecil dibandingkan tekanan pada sisi kanan. Hal ini disebabkan oleh bentuk percabangan tersebut. Sehingga, pada sisi kiri akan mempunyai tekanan yang lebih kecil karena *pressure drop* di area ini lebih besar karena adanya belokan pipa, sedangkan pada sisi kanan akan mempunyai tekanan lebih besar karena posisi pipa berada pada garis lurus dari arah pipa utama. Inilah kemungkinan penyebab yang terjadi sehingga tekanan pada sisi kiri sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan tekanan pada sisi kanan.



Gambar 2 Skema Aliran Masuk Uap Menuju Turbin

Turbin uap di PLTP X didesain dengan kondisi uap saturasi seperti tertulis dalam **Table 1**. Jika melihat data temperatur pada **Tabel 2** nilainya lebih tinggi daripada nilai temperatur saturasi, maka dapat dipastikan keadaan uap adalah *superheated*. Selanjutnya, nilai temperatur yang berbeda di sisi kiri dan kanan diselidiki lebih dalam dengan perhitungan menggunakan *steam table Microsoft excel "X Steam Version 2.6"*.

Setelah dilakukan perhitungan diketahui nilai *steam rate* dan *heat rate* adalah sebagai berikut;

Steam rate

Desain : 6,64 kg/kWh

Aktual : 6,62 kg/kWh – 7,10 kg/kWh, rata-rata 6,80 kg/kWh

Heat rate

Desain : 18.471,57 kJ/kWh

Aktual : 18.392,24 kJ/kWh – 19.465,74 kJ/kWh, rata-rata 18.883,71 kJ/kWh

Dalam audit energi perlu adanya suatu perbandingan untuk melihat bahwa hasil audit yang diperoleh apakah baik atau tidak. Data pembanding dapat berupa data desain, commissioning, atau

data performa terbaik. Dilihat dari kemungkinan perbandingan dan ketersediaan data maka dipilih data performa terbaik sebagai pembanding. Data performa terbaik dipilih setelah overhaul pertama.

Data pembanding

Steam rate : 6,72 kg/kWh

Heat rate : 18.682,14 kJ/kWh

Dari perbandingan antara data aktual dan data pembanding dapat disimpulkan bahwa *steam rate* aktual nilainya tidak terlalu jauh dari nilai data pembanding, perbedaan antara keduanya hanya 0,08 kg/kWh atau sekitar 1,2%. Begitu juga dengan nilai *heat rate*, nilainya hanya berbeda sekitar 201,57 kJ/kWh atau sekitar 1%.

Setelah melalui perhitungan maka jumlah kemungkinan uang yang hilang jika harga listrik per kWh adalah USD 4,45 sen per hari adalah USD 2.068, jika dikalikan 30 hari maka jumlahnya jadi USD 62.046, dan dalam setahun adalah USD 744.552. Sedangkan, kerugian karena perbedaan tekanan masuk di kiri dan kanan adalah USD 10,57 per hari dan USD 3.859,5 per tahun.

5. Kesimpulan

Hasil audit yang dilakukan dari PLTP X menunjukkan nilai *steam rate* aktual adalah 6,80 kg/kWh, dan *steam rate* setelah overhaul adalah 6,72 kJ/kWh. Nilai *heat rate* aktual adalah 18.883,71 kJ/kWh, dan *heat rate* setelah overhaul pertama adalah 18.682,14 kJ/kWh. Berdasarkan nilai tersebut dapat dikatakan kinerja turbin dalam kondisi baik.

Daftar Pustaka

- [1] Nuzahar H 2012 *Draft General Plan of Electricity RUKN 2012 – 2031* (Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral)
- [2] Muchlis M dan Permana A D 2003 *Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 sd 2020* (Jakarta: Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang)
- [3] Rahardjo I dan Fitriana I 2005 *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia* Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, dan Energi Terbarukan
- [4] Perindustrian K 2011 *Pedoman Teknis Audit Energi Dalam Implementasi Konservasi Energi dan Pengurangan Emisi CO₂ Di Sektor Industri (Fase 1)* (Jakarta: Pusat Pengkajian Industri Hijau dan Lingkungan Hidup Badan Pengkajian Kebijakan, Iklim, dan Mutu Industri (BPKIMI))
- [5] Sagala A 2011 *Pedoman Teknik Audit Energi* (Jakarta: Kementerian Industri)
- [6] Wahyudi J 2014 *Audit Energi di Bidang Tata Cahaya Untuk Gedung Kampus Bonaventura UAJY* (Yogyakarta: UAJY - Doctoral Dissertation).
- [7] Moran M J dan Shapiro H N 2003 *Termodinamika Teknik* Ed 4 (Jakarta : Penerbit Erlangga)
- [8] Raja A K, Srivastava A P dan Dwidevi M 2006 *Power Plant Engineering* (New Delhi : New Age International Publishers)
- [9] Nangare S P dan Kulkarni R S 2012 Theoretical Analysis of Energy Utilization Measures Through Energy Audit in Sugar Industry Power Plant *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*
- [10] Asian Productivity Organization 2008 *Working Manual On Energy Auditing In Industries* (Jepang: Asian Productivity Organization)
- [11] Raj K S S 2004 *Steam Jet Air Ejector Performance Evaluation* (USA: American Society of Mechanical Engineers (ASME))