

ANALISIS PRESTASI TURBIN GT-1510 BORSIG PADA UNIT UTILITY KALTIM I

Muhammad Hasan Basri* dan Alimuddin Sam *

Abstract

This research aim to analyses how far labour capacity or performance from GT-1510 Borsig turbine in Kaltim-1 utility unit. From the analysis can such component to prediction from turbine of degradation of performance so that requaire to conducted action by turbine component replacement or treatment and also is when done by overhaul.

Keyword: turbine, Kaltim

1. Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pupuk bagi petani mendorong pemerintah untuk meningkatkan stok persediaan pupuk. Salah satu caranya adalah membangun industri pupuk dengan pertimbangan melimpahnya sumber daya alam (gas alam) sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk urea dan ammonia.

Dalam proses pembuatan pupuk banyak perangkat mesin dan instrumen pendukung lainnya yang digunakan, salah satunya sistem turbin uap. Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dalam bentuk kecepatan, kemudian diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin yang dikopel dengan generator. Pada unit utility Kaltim I PT. Pupuk Kalimantan Timur, turbin uap ini khusus digunakan sebagai penyuplai arus listrik untuk komponen mesin atau peralatan yang bekerja dalam proses pembuatan urea dan ammonia.

Tentunya selama turbin beroperasi dalam rentang waktu yang lama terdapat aneka ragam kondisi yang mempengaruhi turbin yang memungkinkan terjadinya penurunan prestasi turbin, seperti adanya vibrasi tinggi, korosi sudu-sudu turbin, perubahan dimensi pada komponen turbin (aus), dan lain sebagainya. Dengan dasar inilah maka dilakukan penelitian tentang sejauh mana prestasi atau kinerja dari turbin selama beroperasi sehingga dapat diprediksikan waktu perbaikannya (maintenance) yang terkait langsung dengan biaya operasional.

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan ini yaitu dapat menganalisis sejauh mana

prestasi atau kinerja dari turbin uap GT 1510 Borsig secara ideal maupun aktualnya.

Manfaat yang dapat diperoleh dari analisis ini yaitu dapat diketahui prestasi kerja dari turbin, komponen alat yang mengalami penurunan prestasi kerja sehingga dapat memprediksikan langkah-langkah pemeliharaan (waktu dan jenisnya).

Sementara Batasan masalah pada penelitian ini meliputi :

- 1) Analisis hanya ditinjau secara termodinamika.
- 2) turbin yang dianalisis adalah turbin uap kondensasi-ekstraksi GT 1510 Borsig di unit utility Kaltim I.
- 3) putaran turbin berkisar 7500 rpm

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Prinsip dasar sistem turbin uap

Sistem turbin uap yang diidealisasikan, proses dimulai dari fluida cair dipompa masuk ke dalam ketel. Ketel menguapkan fluida yang menghasilkan uap tekanan tinggi, uap kemudian masuk turbin dan berekspansi sedemikian rupa sesuai sudu yang dilaluinya. Uap tekanan rendah masuk ke kondensor setelah sebagian energinya digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin. Di dalam kondensor, uap didinginkan pada pada tekanan atmosfer, sehingga mengembun menjadi air. Selanjutnya air kembali ke tempat penampungan dan dipompa kembali ke dalam ketel. Proses pengulangan tersebut disebut *siklus Rankine*. Dari prinsip kerja uap, turbin terbagi atas dua bagian:

- Turbin Aksi (impuls)

Turbin aksi, gerakan rodanya langsung disebabkan oleh semburan uap pada sudu-sudu

* Staf Pengajar Jurusan D3 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

turbin. Proses ekspansi uap (penurunan tekanan uap) hanya terjadi didalam sudu tetapnya saja dan diharapkan tidak terjadi penurunan tekanan didalam sudu gerak, meskipun kenyataannya terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan, aliran turbulensi uap dan kerugian energi lainnya.

• Turbin reaksi

Proses ekspansi uap terjadi baik didalam sudu tetap maupun pada sudu geraknya. Uap akan memberikan gaya dorong aksial pada rotor, untuk mengimbangi gaya dorong aksial tersebut maka rotor dilengkapi dengan piston penyeimbang. Selain itu sebagian gaya dorong aksial diambil alih oleh bantalan yang berfungsi agar rotor berada dalam arah aksial yang seharusnya.

2.2 Sistem ejektor

Dalam sistem turbin uap, ejektor merupakan alat yang berguna untuk menciptakan kevakuman di dalam kondensor. Prinsip kerjanya yaitu uap bertekanan tinggi menyembur melalui ejektor menghisap uap tekanan rendah di dalam kondensor. Penyelesaian masalah ejektor didasarkan pada

prinsip keseimbangan energi, massa dan persamaan kontinuitas. Ludwig memberikan pendekatan untuk penyelesaian yang dipakai pada kondensor turbin. Pada kondensor turbin, tekanan hisap ejektor diasumsikan sebagai tekanan jenuh pada temperatur 7,5 °F dibawah temperatur uap jenuh pada tekanan absolut di kondensor. Uap dan udara yang terhisap sebesar :

$$W_v = 0,62 \frac{P_v}{P_a} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

W_v: berat uap (vapor) perberat udara terhisap (lb_u/lb_a)

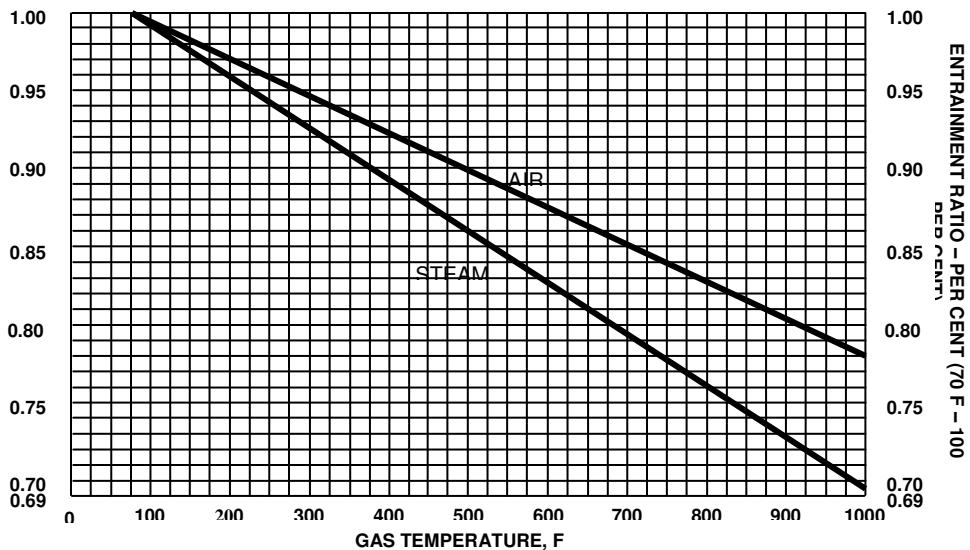
P_v = tekanan pada bagian hisap ejektor

P_a = P – P_v = selisih tekanan kondensor dengan tekanan hisap ejektor

Uap yang terhisap diperoleh dari tabel 1. Apabila kondensor tidak bertemperatur 70 °F maka digunakan faktor koreksi seperti yang terlihat pada gambar 1.

Tabel 1. Kapasitas uap pada 70 °F

Maximum Steam Condensed Lb per Hr	Dry air at 70 °F			
	Serving Turbines		Serving Engines	
	SCFM	Lb/Hr	SCFM	Lb/Hr
Up to 25,000	3.0	13.5	6.0	27.0
25,001 to 50,000	4.0	18.0	8.0	36.0
50,001 to 100,000	5.0	22.5	10.0	45.0
100,001 to 250,000	7.5	33.7	15.0	67.4
250,001 to 500,000	10.0	45.0
500,001 and up	12.5	56.2



Gambar 1. Faktor koreksi uap dan udara pada temperatur di atas 70° F

$$(m_1 \cdot c_p \cdot \Delta t)_{\text{air pendingin}} = [(m_2 - m_3)(h_f + x h_{fg})]_{\text{uap camp}} - [(m_2 - m_3)h_f]_{\text{kondensat}} \dots\dots\dots(2)$$

- dimana : m_1 = laju aliran massa air pendingin (kg/s)
 m_2 = laju aliran massa uap campuran (kg/s)
 m_3 = laju aliran massa kondensat (kg/s)
 Δt = perbedaan temperatur air pendingin ($^{\circ}\text{C}$)
 x = kualitas uap
 h_f = entalpi uap dalam kondisi liquid (kJ/kg)
 h_{fg} = enalpi uap dalam kondisi campuran (kJ/kg)

Perhitungan kualitas uap berdasarkan persamaan balans energi di kondensor (persamaan 2).

2.3 Prestasi kerja turbin uap

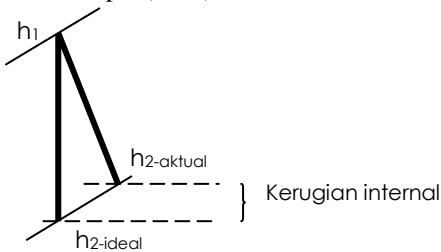
Turbin uap yang ideal akan berekspansi secara adiabatik dan isentropis. Namun secara aktual terjadi beberapa kehilangan energi yaitu kerugian dalam (internal), kerugian akibat kebocoran (volumetris) dan kerugian mekanis. Untuk turbin uap adiabatik, dengan mengabaikan energi potensial serta energi kinetik uap masuk dan keluar, maka persamaan kesetimbangan energi dalam konsep efisiensi menjadi :

$$W = \eta_I \cdot \eta_v \cdot \eta_m \cdot (h_1 - h_2) \dots\dots\dots(3)$$

- Dimana : w = kerja poros turbin
 h_1 = entalpi uap masuk turbin
 h_2 = entalpi uap keluar turbin
 η_I = efisiensi internal turbin
 η_v = efisiensi volumetris
 η_m = efisiensi mekanis

a. Kerugian internal

Kerugian internal adalah kerugian kondisi uap dari dalam bagian-bagian turbin berupa gesekan, turbulensi uap, pembelokan, pancaran dan tubrukan, yang semuanya akibat mengalirnya uap. Hal ini menyebabkan proses ekspansi pada turbin tidak lagi isentropis, sehingga uap keluar turbin mempunyai energi kalor (entalpi) yang lebih besar daripada isentropis (ideal).



Gambar 2. Penurunan entalpi isentropis (ideal) dan actual.

Pada turbin, efisiensi internal ditunjukkan melalui persamaan :

$$\eta_I = \frac{h_1 - h_{2-aktual}}{h_1 - h_{2-isentropis}} \dots\dots\dots(4)$$

b. Kerugian volumetris

Kerugian volumetris adalah kerugian akibat bocornya uap ke atmosfer lewat celah perapat (seal).

c. Kerugian mekanis

Kerugian mekanis merupakan kerugian akibat gesekan pada bantalan dan kopling, serta tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan sistem governor dan generator. Kerugian ini relatif kecil. Brown dan Dwery memberikan pendekatan untuk kerugian mekanis dengan persamaan :

$$L_m = \frac{1,26 (h_1 - h_2)_{rated}}{\sqrt{(HP)_{rated}}} \quad [\text{btu/lb}] \dots\dots\dots(5)$$

dimana : $(h_1 - h_2)_{rated}$ = selisih entalpi aktual pada *power rated*

2.4 Daya turbin

Daya turbin yang dikopling dengan beban (BHP) adalah daya bersih setelah dikurangi kerugian-kerugian yang terjadi. Persamaan untuk daya turbin yaitu :

$$P = m \cdot \eta_{internal} \cdot \eta_{volumetris} \cdot \eta_{mekanis} \cdot (h_1 - h_{2-isentropis}) \dots\dots\dots(6)$$

- Dimana : m = laju aliran uap [kg/s]
 h = entalpi uap (kJ/kg)

2.5 Efisiensi termal

Merupakan ukuran prestasi kerja dari sistem turbin:

$$\eta_{th} = \frac{h}{i - q} \dots\dots\dots(7)$$

3. Metode Penelitian

3.1 Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di unit utility Kaltim-1 PT. Pupuk Kalimantan Timur pada Bulan Januari 2000.

3.2 Prosedur pengambilan data

Data yang berhubungan dengan analisis diambil secara langsung saat turbin beroperasi secara normal yang terdapat pada digital gauge pada turbin. Adapun data yang diperlukan dapat dilihat pada table 2 dan table 3.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

Untuk kondisi ideal turbin(isentropis) baik HP turbin maupun LP turbin, analisis dilakukan dengan menentukan besarnya entalpi uap (h_1, h_2, h_3 dan h_4) berdasarkan tekanan dan temperatur uap (lihat tabel 3). Besarnya entalpi uap dapat dilihat pada table 3. setelah diketahui nilai dari entalpi uap

maka daya yang dihasilkan turbin secara ideal dapat ditentukan berdasarkan persamaan daya turbin.

Sedangkan kondisi aktual, entalpi uap (h_1 dan h_2) pada turbin HP ditentukan berdasarkan tekanan masuk dan keluar serta temperatur masuk dan keluar. Sedangkan entalpi uap (h_3 dan h_4) pada turbin LP ditentukan dengan memperhitungkan uap yang terhisap oleh ejektor melalui persamaan balans di kondensor. Persamaan balans di kondensor berguna untuk menentukan kualitas uap yang melalui turbin, sehingga dapat diketahui besarnya entalpi uap (h_4) yang keluar dari turbin LP. Setelah nilai uap diketahui maka besarnya. Prestasi kerja turbin dilihat dari besar-kecilnya nilai efisiensi turbin. Nilai efisiensi diperoleh setelah diketahui nilai entalpi dan daya turbin diketahui. Adapun hasil analisis dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Data operasional Turbin

Parameter	satuan	A. Angka
Tekanan uap masuk turbin (P_1)	MPa	7,84
Tekanan uap ekstraksi (P_{eks})	Mpa	0,42
Tekanan uap keluar turbin (P_{exh})	MPa	0,014
Temperatur uap masuk turbin (T_1)	°C	468
Temperatur uap ekstraksi (T_{eks})	°C	208
Temperatur uap keluar turbin (T_{exh})	°C	42
Laju massa uap masuk pada HP camshaft 50% (m_{HP})	kg/s	12,4
Laju massa uap masuk pada LP camshaft 69,4% (m_{HP})	kg/s	0,516
Putaran turbin (n)	rpm	7483

Tabel 3. Hasil Perhitungan untuk kondisi ideal dan aktual

Parameter	satuan	kondisi ideal	kondisi aktual
Entalpi uap masuk HP (h_1)	kJ/kg	3319,67	3319,67
Entalpi uap keluar HP (h_2)	kJ/kg	2885	2885
Entalpi uap masuk LP (h_3)	kJ/kg	2885	2885
Entalpi uap keluar LP (h_4)	kJ/kg	2139,34	2430,2
Daya turbin HP	MW	8,504	5,390
Daya turbin LP	MW	5,884	5,412
Daya Total	MW	14,388	10,802
Efisiensi internal		0,754	0,754
Efisiensi Mekanis		0,993	0,993
Efisiensi volumetris		0,998	0,998
Efisiensi Total		0,749	0,749
Efisiensi Termal		0,38	0,38

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3, bahwa daya yang dihasilkan turbin tergantung dari kapasitas uap yang masuk ke dalam turbin dan besarnya penurunan entalpi uap. Daya yang dibangkitkan oleh turbin secara ideal lebih besar dibandingkan oleh turbin secara aktual. Hal ini disebabkan karena kerugian-kerugian yang terjadi di dalam turbin belum diperhitungkan misalnya kerugian akibat kebocoran, kerugian tekanan, kerugian uap melalui sudu-sudu turbin.

Dari hasil perhitungan pula diperoleh efisiensi internal sebesar 75,4% yang menunjukkan besarnya energi yang dimanfaatkan secara efektif oleh sudu turbin dan sisanya hilang akibat kerugian yang terdapat di dalam turbin tersebut. Efisiensi internal dapat ditingkatkan dengan memperkecil penurunan entalpi turbin.

Efisiensi mekanis sebesar 99,4% memberikan indikasi bahwa energi yang dimanfaatkan secara efektif dalam memutar poros turbin. Kerugian mekanis diakibatkan gesekan poros dengan bantalan lebih rendah.

Efisiensi termal sistem, yang menunjukkan prestasi sistem turbin secara umum menunjukkan bahwa energi yang dimanfaatkan turbin rendah yaitu 38,1% yang berarti terdapat kehilangan energi yang besarnya 69,1% terserap dalam mengatasi kerugian di dalam turbin, dan terbuang ke lingkungan sekitar.

5. Kesimpulan dan saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. performance atau prestasi kerja turbin sangat dipengaruhi oleh besarnya kerugian-kerugian yang berhubungan dengan kondisi uap itu sendiri maupun kerugian-kerugian mekanis seperti gesekan, tumbukan dan lain-lain.
2. Performance turbin dapat ditingkatkan dengan dengan memperkecil kerugian yang terjadi seperti mengurangi kebocoran melalui ruang bebas sehingga energi uap dimanfaatkan secara efektif dalam memutar poros turbin

5.2 Saran

Sebaiknya terpasang alat ukur kapasitas uap yang terhisap dalam ejektor sehingga evaluasi performance turbin untuk masa akan datang lebih mudah dan akurat.

6. Daftar Pustaka

- , 1979. *Buku Manual Turbin*, PT. Pupuk Kalimantan Timur, Bontang.
- Arismunandar, W, 1997. *Penggerak Mula Turbin*, ITB, Bandung.
- Birnie, Mc, 1980. *Marine Steam Engine and Turbines*, Butterworth & Publisher Ltd, England.
- Dietzel, F, 1993. *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- Moore, W, 1950. *Turbin Uap*, Bina Samudra, Jakarta.
- Reynold, C, 1996. *Termodinamika Teknik*, Erlangga, Jakarta.
- Saarlans, M, 1978. *Steam and Gas Turbines for Marine Propulsion*, United States Naval Institute Annapolis, Maryland.
- Shlyakhin, P, 1993. *Turbin Uap*, Erlangga, Jakarta.