

Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)

Journal homepage: <http://e-journal.janabudra.ac.id/index.php/JMST>

Original Article

Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa Sawit (PLTBS) Pabatu PT Perkebunan Nusantara IV

Saptyaji Harnowo^{1*}

¹ Program Studi Teknik Mesin, Politeknik LPP, Jl. LPP No1 Yogyakarta 55222

*Corresponding author :

E-mail: saptyaji.lpp@gmail.com

Abstract – Palm Oil Biomass Power Plant (PLTBS) in Pabatu Estate, North Sumatera has been in operation since 2010. The plant is planned to generate power up to 3.2 Mwatt with waste fuel from empty fruit bunches palm oil. Since this operation, the performance of this biomass power plant (PLTBS) not reaches its target as designed. Electric power generated is under rated capacity and the fuel can not use empty fruit bunches, and changes by oil palm shell that has a higher economic value. This study aims to analyze and audit the performance of biomass power plant/PLTBS Pabatu. Analysis was conducted on the performance of each equipment operational parameter that was collected during this study. These equipment are: boiler, turbine, generator, condenser and pump in accordance with the Rankine cycle. Data operational calculated based on Thermodynamic analysis with the results show the performance of PLTBS Pabatu still not optimal. Thermal efficiency is still low about 22%, boiler efficiency 58,2%, actual steam rate 8,23 kg/kwh (calculation). Many effort should be taken to increase the power plant performance by improving the operational parameter of the equipment as well as biomass fuel properties and treatment

Keywords – power plant, biomass; performance; thermodynamic; thermal efficiency

1. Pendahuluan

Energi berbasis fosil yang semakin menipis mendorong munculnya berbagai jenis energi alternatif. Salah satu yang paling potensial adalah energi alternatif berbasis biomasa yang memiliki keunggulan karena merupakan energi terbarukan (*renewable energy*). Bali *Clean Energy Forum* (BCEF), dalam pernyataan Menteri ESDM mengatakan bahwa pengembangan energi listrik dalam 4 tahun kedepan sebesar 8,8 giga watt dengan prosentase energi baru terbarukan mencapai 25% (Nengah Sudja, 2016).

Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang berkembang pesat di Indonesia merupakan penghasil limbah biomasa dalam jumlah yang cukup besar. Limbah sawit dalam bentuk tandan kosong, cangkang dan fiber dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menjadikannya sebagai bahan bakar boiler pembangkit uap. Bahan bakar boiler diperoleh dari sisa pengolahan bahan baku tandan segar sawit dengan produk utama minyak *Crude Palm Oil (CPO)*,

dengan hasil samping ikutan limbah padat biomasa : sabut, cangkang dan tandan kosong.

Sistem pembangkit energi listrik di PKS menggunakan sabut (*fiber*) dan cangkang sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap. Tandan kosong diharapkan menjadi salah satu bahan bakar alternatif untuk boiler sehingga dapat mengatasi permasalahan limbah tandan kosong (IRENA, *Bio Energy Forum* 2014).

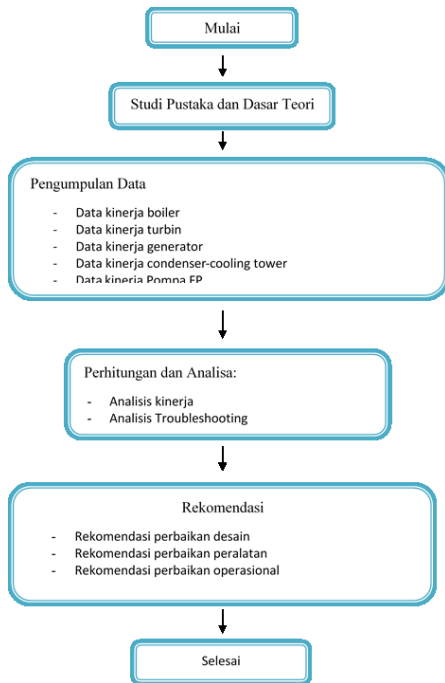
Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa Sawit (PLTBS) di Kebun Pabatu, Sumatra Utara milik PT Perkebunan Nusantara IV (Persero) telah beroperasi sejak tahun 2010. Pembangkit tersebut direncanakan memiliki kapasitas terbangkit sebesar 3,2 MW dengan bahan bakar dari tandan kosong (*empty fruit bunch*) kelapa sawit. Listrik yang dihasilkan oleh PLTBS Pabatu digunakan sebagai sumber energi pada pabrik pengolahan minyak biji sawit (*Palm Kernel Oil Mill*) yang juga berada pada lokasi tersebut.

Sejak beroperasi, ternyata kinerja PLTBS belum dapat mencapai target yang diharapkan sesuai desain. Tenaga listrik yang dihasilkan rata-rata hanya mencapai 2-2,4 MW,

serta bahan bakar yang digunakan tidak dapat menggunakan tandan kosong, melainkan harus disuplai dengan cangkang sawit yang memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi. Dengan kondisi tersebut, maka PLTBS Pabatu memiliki efisiensi yang rendah dengan biaya operasional yang cukup tinggi.

2. Metode Penelitian

Skema kerja studi mulai dari pengumpulan data sekunder dan primer, pengolahan dan analisis data sampai dengan perumusan kelayakan hasil studi sebagaimana diuraikan dalam gambar 1.



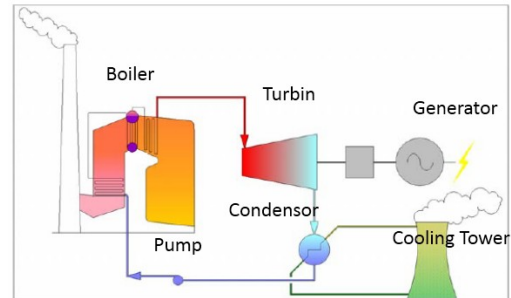
Gambar 1. Alur kerja penelitian

Penelitian dimulai dari kajian pustaka tentang teknologi pembangkit listrik biomasa sawit, yang merupakan sistem pembangkit uap berdasarkan siklus Rankine. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data-data kinerja peralatan pembangkit, meliputi kinerja boiler, turbin, condenser, generator dan pompa. Dari data yang diperoleh di lapangan, kemudian dianalisis sesuai dengan standar yang berlaku di lapangan. Analisis yang digunakan adalah analisis kinerja dari parameter kerja peralatan seperti : tekanan, suhu, water flow rate, mass flow rate serta daya terbagkit dalam pembacaan watt meter generator. Sedangkan analisis kinerja Boiler akan menggunakan instalasi feed water temperatur, tekanan pompa serta tekanan uap dan suhu uap termasuk pemakaian bahan bakar pembangkit PLTBS berupa sabut, cangkang dan tandan kosong, maka dilakukan analisis nilai kalor terhadap bahan bakar tersebut untuk melihat potensi sumber energi yang tersedia (hasil laboratorium PAU – UGM).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Siklus dan Alat Pembangkit

Siklus dasar pembangkit uap PLTBS Pabatu, secara termodinamika dapat digambarkan seperti gambar 2. Spesifikasi alat dan data operasional merupakan data sampling yang dicatat dalam operasional setiap peralatan pembangkit PLTBS Pabatu



Gambar 2. Siklus Pembangkit PLTBS

Gambar diatas merupakan siklus dasar Rankine, dimana uap dibangkitkan oleh *Boiler* pada keadaan superheat, kemudian dialirkan masuk *Turbin* sehingga uap diekspansikan untuk menghasilkan tenaga listrik pada *Generator*. Uap yang keluar dari turbin pada tekanan *vacuum* karena peran alat *Condenser* sehingga kondisi uap berubah *saturated liquid vapour*. Condenser digunakan untuk mengubah uap menjadi *subcooled liquid* (kondensat) dengan bantuan air pendingin yang disirkulasikan melalui *Cooling Tower*, untuk seterusnya air kondensat dipompakan lagi ke *Boiler* dan terjadi siklus yang berulang secara kontinyu. Lihat gambar siklus dasar pembangkit uap.

3.2 Spesifikasi Utama Alat Pembangkit

1. Merk/type Boiler	: Takuma N600
Tekanan kerja	: 25 bar g
Suhu uap/superheat	: 400 C
Kapasitas Uap	: 20Ton/jam
2. Steam Turbine	: Dresser Rand
Daya	: 3,2 Mw
Steam Rate	: 6 kg/kw h
Alternator	: 3 MW

3.1. Analisis Kinerja Pembangkit

Untuk kinerja pembangkit uap akan dinalisis dengan pendekatan termodinamika berbasis rankine siklus sesuai diagram T-s pembangkit gambar 3.

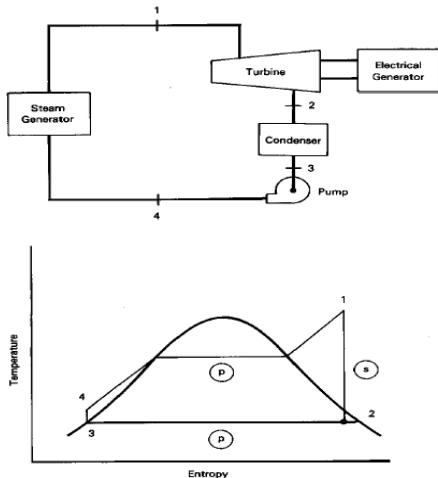
Dengan siklus dasar pembangkit seperti gambar 2 dan 3, maka untuk dapat menghitung kinerja pembangkit biomasa sawit Pabatu, dapat di analisis dengan dasar *Rankine Cycle Analysis*, (Dunn, 2007).

Dengan asumsi bahwa semua aliran masa dan energi yang *steady*, sehingga berlaku hukum konservasi energi,

Dengan mendasarkan pada hukum pertama Termodinamika :

$$dQ = dU - dW \quad (1)$$

dimana : dQ = kalor yang diterima sistem,
 $dU = U_2 - U_1$ = perubahan energi
 dW = usaha yang dilakukan system



Gambar 3. Diagram T - s Pembangkit

Dengan menerapkan konsep diatas bahwa internal energy (U) sebanding dengan enthalpy (h) dan Turbin melakukan kerja ekspansi isentropis, maka diperoleh daya turbin uap :

$$W_T = m_s (h_1 - h_2) \quad (\text{kWatt}) \quad (2)$$

Dimana :

m_s : Jumlah uap masuk turbin, kg/detik

h_1 : Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

h_2 : Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

Untuk Steam Generator/Boiler, berlaku pendekatan:

$$Q_b = (h_1 - h_4) \text{ dalam kJ/kg} \quad (3)$$

Q_b : Panas yang dibutuhkan oleh Boiler (kJ/kg)

h_4 : Entalpi air yang masuk Boiler (kJ/kg)

Untuk Condenser, mengikuti rumus :

$$Q_c = [h_3 - h_2] \text{ dalam kJ/kg} \quad (4)$$

Q_c - Panas yang dilepaskan Condenser (kJ/kg)

h_3 : Entalpi uap yang keluar Condenser (kJ/kg)

Kerja yang dibutuhkan oleh pompa untuk memasukkan air kondensat/air ketel ke Boiler, dinyatakan:

$$W_p = [h_3 - h_4], \text{ dalam kJ/kg} \quad (5)$$

Dari persamaan konservasi masa seperti rumus (1) sd (5), diatas maka dapat dihitung efisiensi thermal siklus pembangkit sebagai rasio antara kerja netto yang dihasilkan dengan kebutuhan panas yang masuk, dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\eta \text{ siklus} = ((h_1 - h_2) + (h_4 - h_3)) / (h_1 - h_4) \times 100\%$$

Untuk kinerja pembangkit dan kinerja turbin akan dilakukan perhitungan : TSR (*Theoretical Steam Rate*) maupun ASR (*Actual Steam Rate*) serta *Plant Heat Rate*, *Fuel Rate* dan efisiensi siklus pembangkit. Dengan pendekatan berikut :

$$\text{Eff isentropis} = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_{2s}) \times 100\%$$

$$\text{TSR} = 3600 / (h_1 - h_{2s}) \text{ kg/ Kw h}$$

$$\text{ASR} = \text{TSR} / \text{Eff. Isentropis} \text{ kg/ Kw h}$$

Dimana h_{2s} merupakan entalphy isentropis turbin uap dari titi1 ke titik 2 (gambar 3)

Secara normatif heat rate akan sebanding dengan pemakaian bahan bakar (*fuel rate*), maka kadang dinyatakan dalam (3413/ η siklus) Btu/kw-h atau (3600/ η siklus) dalam kJ/kw-h (NREL, *National Renewable Energy Laboratory, USA, 2003*).

Untuk kinerja Boiler sebagai pemasok uap pembangkit akan dilakukan perhitungan Efisiensi langsung sesuai ASME Boiler PTC4, dengan pendekatan rumus :

$$\text{Eff Boiler (\%)} = \frac{m_{\text{uap}} \times (h_1 - h_f)}{m_{\text{cangkang}} \cdot \text{NCV}_{\text{cangkang}}}$$

Dimana :

m_{uap} : jumlah uap boiler (kg/jam)

h_1 : entalphi uap boiler (kJ/kg)

h_f : entalphi air pengisi Boiler (KJ/kg)

m_{cangkang} : Kebutuhan cangkang (kg/jam)

$\text{NCV}_{\text{cangkang}}$: Nilai kalor cangkang (kJ/kg)

Untuk menghitung efisiensi diatas digunakan nilai kalor cangkang $\text{NCV} = 3900 \text{ kcal/kg}$ (16328,5 kJ/kg) hasil analisis nilai kalor lab PAU - UGM.

Tabel 1. Data sampling I

I		BOILER		TURBIN				Bahan bakar	DAYA
Jam	Tek	Water Flow	steam flow	Suhu air masuk	Tek inlet	Suhu	Tek out		
		m ³ /jam	m ³ /jam	(°C)	Bar	(°C)	Bar	Kg/jam	Kwatt
7	23	11871	10209	90	22	390	-0.5	95000	2200
12	23	11902	10264	90	22	390	-0.5		2300
15	25	11920	10297	90	22	390	-0.5		2300
18	24	11931	10330	90	22	395	-0.47		2200
21	24	11942	10363	90	22	395	-0.52		2200
0	23	11956	10395	90	20	395	-0.5		2200
3	23	11974	10429	90	22	400	-0.5		2200
6	23	11992	10467	90	22	395	-0.5		2200
24			10344	90	21.75	393.75	-0.498	3958	2225

Tabel 2. Analisa data I

Parameter	Entalpi	sat	Entropi	Flow rate	Daya
Daya terbangkit		kwatt			2225
Steam Flow		kg/jam		10344	
Fuel rate		kg/jam		3958	
h ₁	3230	kJ/kg			
s ₁	-	kJ/kg K	7.0523		
h ₂	2645	kJ/kg			
h _{2 isent}	2439.9	kJ/kg			
h ₃ at 0,51 bar abs	334.85	kJ/kg			
h ₄ --H _f pada 90 °C	376.76	kJ/kg			
h ₁ -h ₂	585	kJ/kg			
h ₁ -h _{2 isent}	790.1	kJ/kg			
Eff Turbin isent	0.74041				
TSR Turbin	6.15385	kg/kw h			
ASR Turbin	8.31137	kg/kw h			
Plant Heat rate	13264.7	kJ/kw h			
Fuel Rate	1.77888	kg/kw h			
h ₃ - h ₄	-41.91	kJ/kg	Kerja masuk		
h ₁ - h ₄	2853.24	kJ/kg			
Eff Siklus =	$(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4) / (h_1 - h_4) \times 100\%$				0.2198

Tabel 3. Sampling Data II

II		BOILER			TURBIN			Bahan bakar	DAYA
Jam	Tek	Water Flow	steam flow	Suhu air masuk	Tek inlet	Suhu	Tek out		
		m ³ /jam	m ³ /jam	(°C)	Bar	(°C)	Bar		
7	25	11998	10473	90	22	390	-0.5	85000	2300
12	24	12027	10528	90	22	390	-0.5		2300
15	23	12043	10563	90	22	390	-0.5		2300
18	24	12060	10593	90	22	395	-0.5		2300
21	24	12074	10615	90	22	400	-0.5		2200
0	24	12078	10625	90	20	395	-0.5		2200
3	24	12098	10657	90	22	395	-0.5		2200
6	24	12115	10668	90	22	390	-0.49		2200
Rata2	24	12061.63	10590	90	21.75	393.125	-0.498	3542	2250

Tabel 4. Analisa Data II

Parameter	Entalpi	sat	Entropi	Flowrate	Daya
Daya terbangkit		kwatt			2250
Steam Flow		kg/jam		10590	
Fuel rate		kg/jam		3542	
h ₁	3227.9	kJ/kg			
s ₁	-	kJ/kg K	7.0491		
h ₂	2645.6	kJ/kg			
h ₂ isent	2454.9	kJ/kg			
h ₃ at 0,51 bar abs	342.45	kJ/kg			
h ₄ --Hf pada 90 C	376.76	kJ/kg			
h ₁ -h ₂	582.3	kJ/kg			
h ₁ -h ₂ isent	773	kJ/kg			
Eff Turbin isent	0.7533				
TSR Turbin	6.18238	kg/kw h			
ASR Turbin	8.20708	kg/kw h			
Plant Heat rate	13419.4	kJ/kw h			
Fuel Rate	1.57422	kg/kw h			
h ₃ - h ₄	-34.31	kJ/kg	Kerja masuk		
h ₁ - h ₄	2851.14	kJ/kg			
Eff Siklus =	$(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4) / (h_1 - h_4) \times 100\%$				0.219

Tabel 5. Data Pengamatan III

III		BOILER			TURBIN			Bahan bakar	DAYA
Jam	Tek	Water Flow	steam flow	Suhu air masuk	Tek inlet	Suhu	Tek out		
		m ³ /jam	m ³ /jam	(°C)	Bar	(°C)	Bar	Kg/jam	Kwatt
7	25	12360	11184	90	22	390	-0.5	78000	2200
12	25	12387	11236	90	22	390	-0.5		2300
15	24	12497	11266	90	22	390	-0.5		2300
18	23	12422	11298	90	22	390	-0.47		2200
21	23	12438	11327	90	20	395	-0.5		2200
0	25	12455	11357	90	22	395	-0.48		2200
3	24	12473	11388	90	22	400	-0.5		2200
6	25	12490	11418	90	22	395	-0.5		2200
24 jam	24.25	12440.25	11309	90	21.75	393.13	-0.498	3250	2225

Tabel 6. Data Analisa III

Parameter	Entalpi	sat	Entropi	Flow rate	Daya
Daya terbangkit		kwatt			2225
Steam Flow		kg/jam		11309	
Fuel rate		kg/jam		3250	
h ₁	3228.2	kJ/kg			
s ₁	-	kJ/kg K	7.0495		
h ₂	2645.6	kJ/kg			
h _{2 isent}	2455	kJ/kg			
h ₃ at 0,51 bar abs	342.45	kJ/kg			
h ₄ --H _f pada 90 °C	376.76	kJ/kg			
h ₁ -h ₂	582.6	kJ/kg			
h ₁ -h _{2isent}	773.2	kJ/kg			
Eff Turbin isent	0.75349				
TSR Turbin	6.1792	kg/kw h			
ASR Turbin	8.20075	kg/kw h			
Plant Heat rate	14493	kJ/kw h			
Fuel Rate	1.46067	kg/kw h			
h ₃ - h ₄	-34.31	kJ/kg	Kerja masuk		
h ₁ - h ₄	2851.44	kJ/kg			
Eff Siklus =	$(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4) / (h_1 - h_4) \times 100\%$				0.219

Tabel 7. Analisa Efisiensi Boiler

Uraian	Data I	Data II	Data III
M uap (kg/jam)	10344	10590	11309
M Cangkang (kg/jam)	3958	3542	3250
NCV	16328,5	16328,5	16328,5
h_1 (Kj/kg)	3230	3227,9	3228,2
H_f (Kj/kg)	376,76	376,76	376,76
Efisiensi (%)	45,7	52,2	60,7

Tabel 8. Resume Hasil Analisis Kinerja

Uraian	Satuan	Data I	Data II	Data III	Rata Rata
ASR Turbin	Kg/ kw h	8,31	8,21	8,20	8,23
Eff Boiler	%	45,7	52,2	60,7	52,8
Rasio uap/bahan bakar		2,60	2,98	3,48	3,0
Plant heat rate	KJ/kwh	13264,7	13419,4	14493,0	13725,7
Fuel rate	ton/jam	1,77	1,57	1,46	1,60
Eff Siklus/thermal	%	21,9	21,9	21,9	21,9

Dari hasil analisis data diatas, maka dapat disarikan mengenai parameter yang menjadi indikator kinerja pembangkit uap berbasis biomasa cangkang sawit PLTBS Pabatu, sebagaimana tabel 8 : meliputi *Actual Steam Rate*, *Fuel Rate* dan *Plant Heat rate* serta efisiensi *Boiler*

4. Kesimpulan

- Efisiensi termal pembangkit relatif masih rendah sekitar 21,9% dibandingkan dengan pembangkit uap batu bara yang mencapai 30%, serta pembangkit PLTBS serupa di TSH (Malaysia) sekitar 28%.
- Efisiensi Boiler masih rendah rerata 52,8%
- Evaporation ratio mengenai kemampuan bahan bakar cangkang terhadap uap terbangkit masih rendah : 3,0 dibandingkan evaporation rasio bahan bakar batu bara : 4 – 5 kg uap/kg bahan bakar
- Konsumsi uap spesifik yang dinyatakan dalam ASR relatif tinggi 8,23 kg/ kwh, sehingga untuk mencapai daya terbangkit sesuai rated generator 2500 kwatt diperlukan uap dari Boiler mencapai 20 ton/jam, sementara spesifikasi turbin bisa mencapai 6 kg/kw h (*Manual Dresser Rand Turbin*)

- Plant Heat rate mencapai nilai 13.342 KJ/kwh, sudah cukup baik sesuai range pembangkit biomasa di USA, NREL, 2003

Daftar Pustaka

- Arieta, (2007) *Cogeneration potential in the Columbian palm oil industry: Three case studies*.
- Basiron, Sukaimi, Ngan, Darus, Yusof, (1985) *Palm Oil Factory Process Handbook*, Palm Oil Research Institute of Malaysia, Malaysia.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, (2004) Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional.
- International Renewable Energy Agency, (2014) *Bio Energy Forum*, Bangkok.
- J Dunn, (2007) *Thermodynamics Analysis*.
- Lynn Wright, Bob Boundy, Philip G Badger, Bob Periack, Stacy Davia, (2009) *Biomass Energy Data Book : Edition 2*, Oak Ridge, Tennessee, US.
- Mujeebu and Abdullah, (2009) *Biomass Based Cogeneration and Trigeration for Effective Heat Recovery and Waste Management*.
- Quack, Knoof, Stessen, (1999) *Energy From Biomass, review of combustion and gassification*, The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK, Washington DC.