

ANALISA PERFORMA SISTEM PEMBANGKIT TENAGA UAP DI PT. BAHARI GEMBIRA RIA (BGR) SUNGAI GELAM JAMBI

Erna Rahayu EW²⁴, Jatmiko Edi Siwanto²⁵

Email Korespondensi: Wiriayani62@gmail.com

Abstrak: Energi merupakan unsur yang sangat penting dalam usaha meningkatkan kuantitas hidup masyarakat, kebutuhan terhadap energy sangat diperlukan, sekarang ini konsumsi energy sangat berhubungan langsung dengan tingkat kuantitas kehidupan penduduk serta derajat industrylisasi suatu negara PT. Bahari Gembira Ria (BGR) Sungai Gelam Jambi, Memproduksi kelapa sawit 30 ton/jam. *Boiler* mempunyai peranan yang sangat penting dalam kelangsungan kinerja dari sebuah pabrik peghasil minyak kelapa sawit. Sistem kerja dari turbin uap dalam system tenaga uap mengikuti siklus rankin, yang mana peralatan terdiri dari pompa, boiler, turbin dan kondensor yang bekerja secara terus menerus dimana uap yang keluar turbin tekanan masih tinggi, karena sebagian akan digumakan untuk proses perebusan sawit dan sebagian akan kembali masuk ke kondensor untuk dipakai di boiler, dari perhitungan didapat daya generator yang makin besar efisiensi thermal meningkat, efisiensi terkecil 73,6 % pada daya generator 599 watt dan efisiensi terbesar 80,5 % pada daya generator 644 kw.

Kata kunci: turbin, performa, efisiensi

Abstract: *Energy is a very important element in efforts to improve the quantity of people's lives, the need for energy is very necessary, now energy consumption is very directly related to the level of quantity of people's lives and the degree of industrialization of a country PT. Bahari Gembira Ria (BGR) Sungai Gelam Jambi, Producing 30 tons / hour of palm oil. Boilers have a very important role in the continuity of the performance of a palm oil factory. The working system of a steam turbine in a steam power system follows the Rankin cycle, where the equipment consists of pumps, boilers, turbines and condensers that work continuously where the steam coming out of the turbine is still high pressure, because some will be used for the palm oil boiling process and some will return to the condenser to be used in the boiler, from the calculation it is obtained that the greater the generator power, the thermal efficiency increases, the smallest efficiency is 73.6% at a generator power of 599 watts and the largest efficiency is 80.5% at a generator power of 644 kw.*

Keywords: *turbine, performance, efficiency*

^{24,25} Dosen Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi.

PENDAHULUAN

Energi merupakan unsur yang sangat penting dalam usaha meningkatkan kuantitas hidup masyarakat. Seiring dengan meningkatkan taraf hidup atau kuantitas dari masyarakat, kebutuhan terhadap energy sangat diperlukan, sekarang ini konsumsi energy sangat berhubungan langsung dengan Tingkat kuantitas kehidupan penduduk serta derajat industrylisasi suatu negara. Salah satunya energi yang paling banyak digunakan oleh manusia dalam sehari-hari adalah energi listrik, sebab sumber energy sangat efektif atau efisien untuk dikonversikan menjadi bentuk energy yang lain seperti suatu pembangkit tenaga yaitu tubin uap penggerak generator.

Salah satu jenisnya adalah tekanan Superheated terhadap daya turbin uap di pabrik kelapa sawit PT. Bahari Gembira ria (BGR) Sungai Gelam Jambi, Memproduksi kelapa

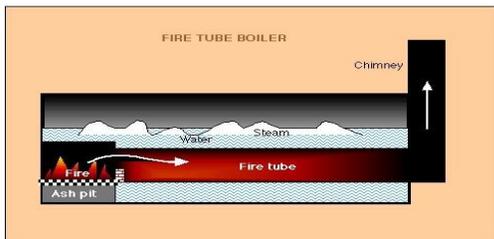
sawit 30 ton /jam. *Boiler* mempunyai peranan yang sangat penting dalam kelangsungan kinerja dari sebuah pabrik penghasil minyak kelapa sawit dengan kata lain bisa dikatakan sebagai jantung dari pabrik penghasil minyak kelapa sawit. Fungsi dari *boiler* adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik (Djokosetyarjo, 2003).

Agar kualitas uap yang dihasilkan dari *boiler* sesuai yang diinginkan atau dibutuhkan maka dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, di mana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar *boiler*. Limbah pabrik kelapa sawit yang berupa *fiber* dan cangkang dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar *boiler* sebagai penghasil uap yang digunakan untuk penggerak turbin pembangkit tenaga listrik, juga sumber uap digunakan untuk proses pengolahan dan perebusan, Seluruhnya digunakan untuk

menggerakkan turbin, maka akan menghasilkan daya listrik yang cukup besar. Di dalam sistem ini, turbin adalah salah satu alat yang sangat mempengaruhi kinerja dari keseluruhan sistem. Oleh sebab itu, dalam tugas akhir ini penulis melakukan analisa terhadap salah satu turbin uap yang ada di Pabrik Kelapa Sawit PT. Bahari Gembira ria (BGR) Sungai Gelam Jambi.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Turbin Uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Dengan kata lain mengubah energi entalpi fluida menjadi energi mekanik. dasarnya turbin uap terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor yang merupakan komponen utama pada turbin kemudian di tambah komponen lainnya yang meliputi pendukungnya seperti bantalan, kopling dan sistem bantu lainnya agar kerja turbin dapat lebih baik. Sebuah turbin uap memanfaatkan energi kinetik dari fluida kerjanya yang bertambah akibat penambahan energi termal konstruksi dari turbin uap seperti yang ditunjukkan pada gambar di PT. bahari gembira ria.



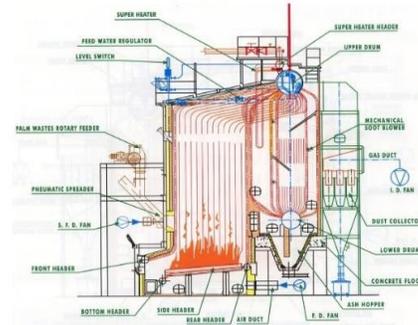
Gambar 1. Turbin uap di PT. BGR

Poros turbin langsung atau dengan bantuan elemen lain, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dari jenis mekanisme yang digerakkan turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, seperti untuk pembangkit listrik. Turbin termasuk mesin tenaga atau mesin konversi energi dimana hasil energinya dimanfaatkan mesin lain untuk menghasilkan daya

Boiler

Berdasarkan fluida kerja yang mengalir di dalam pipa, boiler dapat dibedakan menjadi:

a. Boiler pipa api (*fire tube boiler*) Boiler pipa api adalah boiler yang mengalirkan gas panas hasil pembakaran ke dalam pipa, sedangkan air yang akan diupkan berada di sekeliling pipa api terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Fire tube boiler

b. Boiler pipa air (*water tube boiler*)

Boiler pipa air adalah boiler yang mengalirkan air ke dalam pipa. Air yang berada dalam pipa dipanaskan oleh gas hasil pembakaran yang berada di sekeliling pipa terlihat pada gambar dibawah ini.

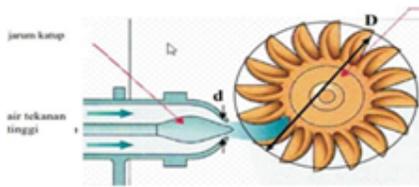


Gambar 3. Water tube boiler

Turbin Berdasarkan Prinsip Kerjanya

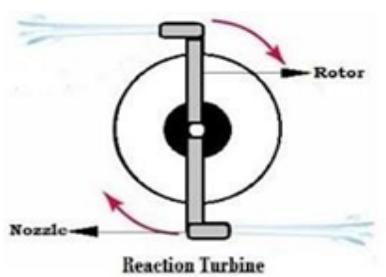
a. Turbin Impuls

Turbin impuls atau turbin tahapan impuls adalah turbin sederhana berotor sahi atau banyak (gabungan) yang mempunyai sudu-sudu pada rotor itu. Sudu biasanya simetris dan mempunyai sudut masuk dan sudut keluar. Turbin satu tahap Turbin impuls gabungan Turbin impuls gabungan kecepatan Ciri-ciri dari turbin impuls antara lain Proses pengembangan uap/penurunan tekanan seluruhnya terjadi pada sudu diam/nozel. Akibat tekanan dalam turbin sama sehingga disebut dengan tekanan rata seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 4. Turbin impuls b.Turbin Reaksi

Pada turbin reaksi, proses ekspansi (penurunan tekanan) terjadi baik di dalam baris sudu tetap maupun sudu geraknya. Turbin reaksi juga dinamai turbin *Parsons* sesuai dengan nama pembuatnya yang pertama, yaitu *Sir Charles Parsons* (Suyanto 2010). terlihat seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 5. Turbin reaksi

Dalam hal ini baris sudu tetap maupun sudu geraknya berfungsi sebagai nosel, sehingga kecepatan relatif uap keluar setiap sudu lebih besar dari kecepatan relatif uap masuk sudu yang bersangkutan. Meskipun demikian, kecepatan absolut uap keluar sudu gerak lebih kecil dari pada kecepatan absolut uap masuk sudu gerak yang bersangkutan, oleh karena sebagian energy kinetiknya diubah menjadi kerja memutar roda turbin. keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk kedalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang sekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan ke arah mengikuti lengkungan dari sudu turbin, perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin. Pemanas Uap Lanjut (Superheater)

Salah satu komponen dari boiler yang sangat mempengaruhi kualitas uap yang dihasilkan boiler adalah *superheater* merupakan alat untuk memanaskan uap kenyang menjadi uap yang dipanas lanjutkan Uap yang dipanas lanjutkan bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi didalam turbin uap tidak akan

(segera) mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang disebabkan terjadinya pukulan balik atau *Back stroke* yang diakibatkan mengembunya uap belum pada waktunya menimbulkan vakum ditempat yang tidak semestinya didaerah ekspansi. Kemungkinan terjadinya pukulan balik atau *Back stroke* ditempat semestinya lebih mudah terjadi bila yang digunakan ialah uap kenyang sebagai penggerak turbin.

Dilihat dari lokasi pesempatannya dibagi menjadi :1.*Superheater* konveksi

Superheater konveksi dapat dibagi menjadi:

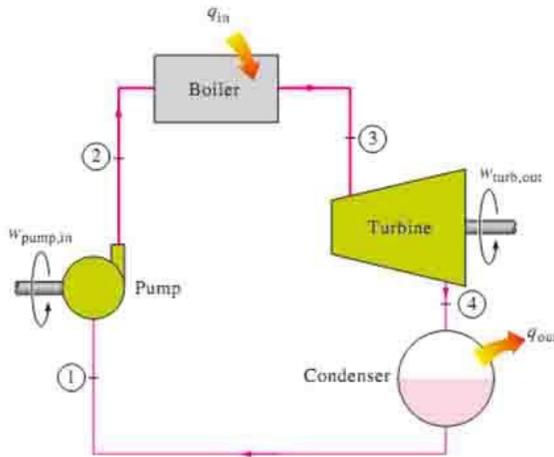
a) Superheater konveksi arus searah

Lihat gambar uap kenyang masuk kedalam Superheater disamping tempat yang sama dengan lokasi gas asap masuk melewati Superheater. Disamping itu lokasi uap yang dipanaskan lanjut ke luar dari Superheater ditempat yang sama dengan lokasi gas asap ke luar dari Superheater

b) Superheater konveksi arus berlawanan dimana konstruksi terdiri dari dua jalur , antara jalur tempat gas asap keluar cerobong dan jalur uap masuk menuju turbin masuk , sehingga uap keluar menjadi uap superheater

Siklus Rankine

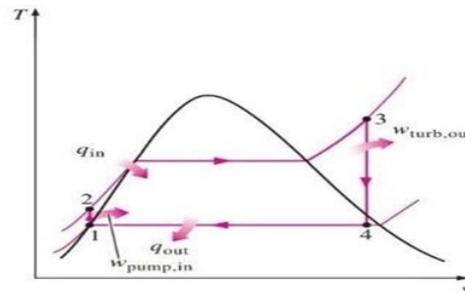
iklus Rankine adalah siklus teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus Rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi, oleh karena itu fluida kerja untuk siklus Rankine harus merupakan uap. Siklus Rankine ideal tidak melibatkan beberapa masalah irreversibilitas internal. Irreversibilitas internal dihasilkan dari gesekan fluida, throttling, dan pencampuran, yang paling penting adalah irreversibilitas dalam turbin dan pompa dan kerugian-kerugian tekanan dalam penukar-penukar panas, pipa-pipa, bengkokan-bengkokan, dan katup-katup. Temperatur air sedikit meningkat selama proses kompresi isentropik karena ada penurunan kecil dari volume jenis air, air masuk boiler sebagai cairan kompresi pada kondisi 2 dan meninggalkan boiler sebagai uap kering pada kondisi 3, bisa kita lihat seperti pada gambar 5 Skematik proses pembangkit listrik tenaga uap dibawah ini.



Gambar 6. Skematik proses pembangkit listrik

Boiler pada dasarnya penukar kalor yang besar dimana sumber panas dari pembakaran gas, reaktor nuklir atau sumber yang lain ditransfer secara esensial ke air pada tekanan konstan. Uap superheater pada kondisi ke 3 masuk ke turbin yang mana uap diekspansikan secara isentropik dan menghasilkan kerja oleh putaran poros yang dihubungkan pada generator listrik. Temperatur dan tekanan uap jatuh selama proses ini mencapai titik 4, dimana uap masuk ke kondensator dan pada kondisi ini uap biasanya merupakan campuran cairan-uap jenuh dengan kualitas tinggi. Uap dikondensasikan pada tekanan konstan di dalam kondensator yang merupakan alat penukar kalor mengeluarkan panas ke medium pendingin. Uap panas lanjut dari ketel memasuki turbin, setelah melalui beberapa tingkatan sudu turbin, sebagian uap diekstraksikan ke deaerator, sedangkan sisanya masuk ke kondensator dan dikondensasikan didalam kondensator. Selanjutnya air dari kondensator dipompakan ke deaerator juga. Di dalam deaerator, uap yang berasal dari turbin yang berupa uap basah bercampur dengan air yang berasal dari kondensator. Kemudian dari deaerator dipompakan kembali ke ketel, dari ketel ini air yang sudah menjadi uap kering dialirkan kembali lewat turbin. Tujuan uap diekstraksikan ke deaerator adalah untuk membuang gas-gas yang tidak terkondensasi sehingga pemanasan pada ketel dapat berlangsung efektif, mencegah korosi pada ketel, dan meningkatkan siklus. Untuk mempermudah penganalisaan siklus termodinamika ini, proses-proses tersebut di atas disederhanakan dalam bentuk diagram

seperti pada gambar 7 T-s siklus rankine terbuka dibawah ini :



Gambar 7. T-s siklus rankine terbuka

Sifat-Sifat Termodinamika

Berbagai sifat termodinamika itu tidak semuanya dapat di tentukan dengan menentukan harga dari beberapa sifat termodinamik saja. Nanti akan di kembangkan suatu aturan mengenai beberapa banyaknya sifat yang harus di ketahui untuk menerapkan tingkat keadaan termodinamika, dalam berbagai bab yang akan digunakan teori termodinamika dilakukannya variabel dengan bebas, oleh karna itu tingkat keadaan termodinamika prediksi terhadap cara plasma tersebut mendekati keseimbangannya. Dengan berbagi-bagi sistem itu seperti tadi dibahas, berbagai tingkat keadaannya dapat dihitung dengan mengetahui sifat-sifat keseimbangan setiap bagiannya.

Performance Turbin Uap

Prestasi turbin uap (steam turbine) menunjukkan kinerja suatu mesin peralatan Dalam analisa turbin uap (steam turbine) ada beberapa performance, yang harus diluung diantaranya daya turtin uap (NT), torsi(T). daya poros efektif (Ne), panas yang masuk (Qin), panas yang keluar (Qout) efisiensi termal (Nth), kerja turbin (WT), kerja pompa (Wp), dan kerja yang berguna.. (Yunus A. Cengel)

Daya Turbin

Pada turbin, daya yang berguna ialah daya poros, karena daya poros ithilali menggerakkan beban. Daya poros itu sendiri dibangkitkan oleh daya indikator dibutuhkan untuk mengatasi gesekan mekanik, misalnya gesekan poros dan bantalannya. Disamping itu, daya harus pula menggerakkan beberapa aksesons yang terdapat pada turbin Dengan demikian besar daya poros dapat dilutung dengan persamaan berikut

$$N_T = m_{uap} (h_4 - h_5).$$

Dimana

N_T = Daya turbin uap (kW)

m_{uap} = Laju aliran massa uap (kg/jam)

h_4 = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

h_5 = Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

Torsi

Konsep torsi dalam fisika juga disebut momen, diawali dan kerja archimedes Informalnya, torsi dapat dipikir sebagai gaya rotational Untuk menghitung nilai torsi dapat menggunakan persamaan berikut :

$$T = \frac{N_T}{n}$$

Dimana :

T = momen torsi (N.m)

N_T = daya turbin (kW)

N = putaran poros (rpm)

Daya Poras Efektif

Daya poros efektif pada turbin adalah daya yang berguna untuk menggerakkan beban Dengan demikian daya poros efektif pada turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$N_e = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60 \times 1000}$$

Dimana :

N_e = daya efektif turbin (kW)

T = momen torsi (N.m)

n = putaran poros (rpm)

Panas Yang Masuk

Panas yang masuk menyatakan hasil selisih antara entalpi uap masuk turbin dan entalpi air keluar pompa. Panas yang masuk keruang bakar ini digunakan untuk proses terjadinya pembakaran di ruang bakar yang dinyatakan dalam satuan kJ/ jam

$$Q_{in} = h_4 - h_2$$

Dimana :

Q_{in} = panas yang masuk (kJ/kg)

h_4 = Entalpi air umpan boiler (kJ/kg)

h_2 = entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

Panas Yang Keluar

Panas yang keluar menyatakan hasil selisih antara entalpi uap keluar turbin dan entalpi air keluar kondensor Panas yang keluar dari ruang bakar ini digunakan untuk proses terjadinya kondensasi yang dinyatakan dalam satuan kJ/jam.

$$Q_{out} = h_5 - h_1$$

Dimana :

Q_{out} = panas yang keluar (kJ/kg)

h_5 = Entalpi air masuk pompa (kJ/kg)

h_1 = entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

Kerja Turbin

Kerja turbin beroperasi dengan cara nozzle menyemprotkan uap (steam) ke sudu-sudu gerak turbin sehingga sudu turbin tersebut berputar yang mengakibatkan proses energi kinetik menjadi energi mekanik, dan dapat dinyatakan dalam satuan (kJ/kg)

$$W_T = h_4 - h_5$$

Dimana :

W_T = kerja turbin uap (kJ/kg)

H_4 = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

H_5 = entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

Kerja pompa

Kerja pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara uap masuk hubin (Struction) dengan bagian air keluar pompa (discharge). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan) dan dapat dinyatakan dalam satuan (kJ/kg).

$$W_p = h_2 - h_1$$

Dimana :

W_p = kerja pompa (kJ/kg)

H_2 = Entalpi air keluar pompa (kJ/kg)

H_1 = entalpi air masuk pompa (kJ/kg)

Kerja yang berguna

Kerja yang berguna adalah kerja efektif yang dihasilkan oleh instalasi turbin uap Dapat dicari dengan perbandingan antara panas yang masuk ke ruang pembakaran di kurangi dengan panas yang keluar dari ruang pembakaran. Dapat dinyatakan dalam satuan (kJ/jam)

$$W_n = W_T - W_p$$

Dimana :

W_n = kerja turbin uap (kJ/kg)

W_T = kerja turbin (kJ/kg)

W_p = kerja pompa (kJ/kg)

Efisiensi Thermal

Efisiensi thermal menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu. Efisiensi thermal dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$N_{th} = \frac{W_n}{Q_{in}} \times 100\%$$

Dimana :

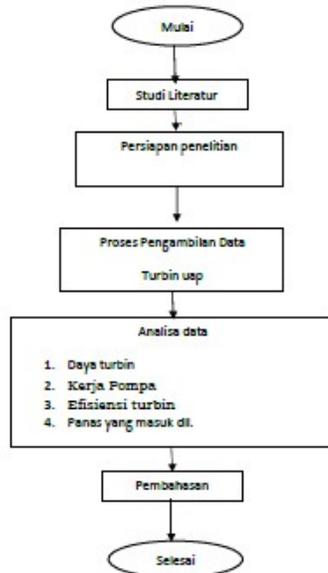
N_{th} = thermal (%)

W_n = kerja yang berguna (kJ/kg)

Q_{in} = panas yang masuk (kJ/kg)

METODE PENELITIAN

Diagram penelitian



Gambar 8. Diagram alir penelitian

Alat dalam Penelitian

1. Boiler pipa air (water tube boiler)

Tabel 1. Spesifikasi Boiler pipa air

Pabrik manufaktur	PT. SUPER ANDALAS STEEL
Type	BS 113-1998
Tahun manufaktur	2003
Serial no	WT 03/0373
Non destruktif testing	FULL
max kontinu ranting	30.000 KG/HR
PWHT	30 kg kg/cm ²
H.T. pressure	3621 N/mm ²
H.T. temperature	ambient
Inspecting authority	D.N.V
Bahan bakar yang digunakan	cangkang dan serabut (fiber) kelapa sawit

2. Turbin uap

Peralatan yang diteliti adalah turbin uap dengan spesifikasi di PT. Bahari Gembira Ria turbin uap:

Tabel 2. Spesifikasi turbin uap

power	800 kw
putaran	pinion 5800 ke 1500 rpm
Trip speed	1680 sd 1750 rpm
inlet temp (stand)	250 °C
inlet temp (max)	270 C
inlet press (staand)	18 bar
inlet press (max)	20 bar
effisiensi thermis	25 %
type	c5 s g IV
merek	nadrowski
buatan	jerman
frekuensi	50 hz

3. Generator

Tabel 3. Spesifikasi Generator

Buatan	Pmt shinko turbine malaysia
Type	MJB 500 SA4
Code	MJB 5002G00080
Phase	3
Serial no	MP 25027
Weight	3100 kg

4. Manometer

Manometer adalah suatu alat untuk indicator untuk mengukur tekanan kerja pada drum header uap superheater terlihat

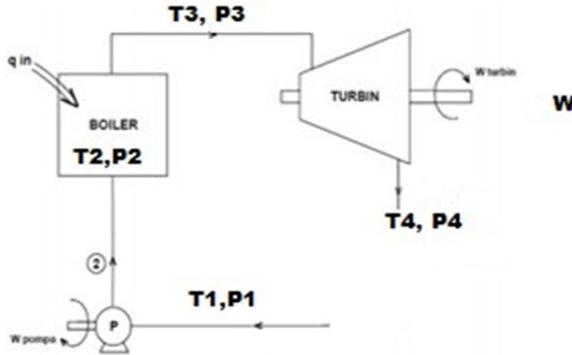
5. Main Panel Turbin Uap

Adalah suatu sistem equipment yang terdiri dari pemutus, metering, protection, control, dan monitoring menjadi satu kesatuan bagian yang saling berhubungan seperti yang ditunjukkan pada gambar.7 PT. Bahari Gembira Ria main panel turbin uap. Main Panel Turbin Uap Adalah suatu sistem equipment yang terdiri dari pemutus, metering, protection, control, dan monitoring menjadi satu kesatuan bagian yang saling berhubungan seperti yang ditunjukkan pada gambar.7 di PT. bahari gembira ria Main Panel Turbin Uap.



Gambar 9. Main Panel Turbin Uap

Pengambilan data dalam penelitian sesuai dengan lay out tersebut dibawah :



Gambar 10. Layout pengambilan data

Parameter-parameter yang di butuhkan antara lain:

- P_1 = Tekanan masuk pompa (bar)
 - T_1 = Temperatur air umpan °C
 - P_2 = Tekanan Keluar Pompa (bar)
 - T_2 = Temperatur dalam boiler (°C)
 - P_3 = Tekanan Superheated (bar)
 - T_3 = Temperatur steam superheated °C
 - P_4 = Tekanan Keluar turbin (bar)
 - T_4 = Temperatur keluar turbin (°C)
 - W = Daya Generator
 - \dot{m}_F = massa laju aliran bahan bakar (kg/s)
 - LHV = Bahan bakar boiler (kcal/kg)
- Dari data yang diambil tersebut penyusun dapat mengolah data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian

Setelah dilakukan penelitian dan pengambilan data operasional pembangkit tenaga uap Boiler di industri Pabrik Kelapa Sawit PT. Bahari Gembira ria (BGR) Sungai Gelam Jambi didapat data-data yang dlakukan 5 kali pengujian dan setelah di rara rata dapat dilihat pada Tabel tersebut dibawah.

Tabel 4. Data Rata-rata pengujian

Data	Pompa		Boiler	TURBIN		Gen
	Temp. air umpan	Tekanan masuk	Tekanan keluar	Temper atur super	Tekanan keluar	Daya generator
	°C	Bar	Bar	°C	Bar	Kw
1	72	1.5	17	230	3.2	539
2	71	1.5	18	229	3.3	589
3	72	1.5	17	230	3.4	617
4	70	1.5	18	229	3.1	628
5	82	1.5	18	230	3.0	644
Rata-rata	73	1.5	18	230	3.2	603

Perhitungan data

a. Perhitungan Energi Boiler (Q_{in})

Dari tabel , di ambil data rendah operasional boiler dan turbin sebagai berikut

- P_3 = 17 bar
- T_3 = 230 °C
- T_1 = 72°C (air umpan boiler)

Berikut adalah interpolasi untuk menentukan entalphi hg3 pada tekanan superheated 17 bar dan suhu superheated 230 °C, interpolasi untuk mencari hg3 ini menggunakan tabel uap superheated

Mencari entalpi boiler (hg3) pada P3 = 17 Bar , T3 = 230° C Dari tabel uap di peroleh :

- T_a = 200 °C h_a = 2797 kJ/kg
- T_3 = 230 °C h_{g3} = ?
- T_b = 240 °C h_b = 2899 kJ/kg

$$H_{g3} = h_a + \frac{T_3 - T_a}{T_b - T_a} \times (h_b - h_a)$$

$$= 2797 \frac{Kj}{Kg} + \frac{(230 - 200)}{(240 - 200)} \times (2899kj/kg - 2797 kj/kg)$$

hg3 = 2873, 5 kJ/kg

Mencari entalpi air umpan (hf1) pada T1 = 72 °C Dari tabel uap di peroleh

- T_a = 70 h_a = 293,0 kJ/kg
- T_1 = 72 h_{f1} = ?
- T_b = 75 h_b = 313,9 kJ/kg

Maka digunakan interpolasi untuk mencari hf1

$$h_{f1} = h_a + \frac{(T_1 - T_a)}{(T_b - T_a)} \times (h_b - h_a)$$

$$h_{f1} = 293,0 \text{ kJ/kg} + \frac{(72-70)}{(75-70)} (313,9 \text{ kJ/kg} - 293,0 \text{ kJ/kg})$$

$$hf1 = 301,36 \text{ kJ/kg}$$

mencari volume spesifikasi air umpan (V1)
pada P1 1,5 bar dari tabel uap diperoleh.

$$P1 = 1,5 \text{ bar} \quad V1 = ?$$

$$V1 = 1,053 \text{ m}^3/\text{kg} : 1000$$

$$V1 = 0,001053 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$Wp = V1 \times (P2 - P1)$$

$$Wp = 0,001053 \text{ m}^3/\text{kg} + (17 - 1,5 \text{ bar})$$

$$Wp = 0,016321 \text{ kJ/kg}$$

$$Hf2 = hf1 + wp$$

$$Hf2 = 301,36 \text{ (kJ/kg)} + 0,016321 \text{ (kJ/kg)}$$

$$Hf2 = 301,36 \text{ kJ/kg}$$

$$Qin = hg3 - hf2$$

$$Qin = (2873,5 - 301,376) \text{ kJ/kg}$$

$$Qin = 2575,124 \text{ kJ/kg}$$

b. Perhitungan daya Turbin uap (WT)

Untuk mendapatkan nilai x kualitas uap keluaran pada turbin uap harus menentukan nilai isentropis terlebih dahulu isentropis Sg4 = 3,2 bar

$$Pa = 3 \text{ bar} \quad Sa = 6,992 \text{ kJ/kg}$$

$$P4 = 3,2 \text{ bar} \quad S4 = ?$$

$$Pb = 4 \text{ bar} \quad Sa = 6,896 \text{ kJ/kg}$$

interpolasi untuk mencari nilai Sg4

$$S_{g4} = Sa + \frac{(P4 - Pa)}{(Pb - Pa)} \times (Sb - Sa)$$

$$S_{g4} = 6,992 \text{ kJ/kg} + \frac{(3,2 - 3)}{(4 - 3)} \times (6,896 - 6,992) \text{ kJ/kg}$$

$$S_{g4} = 7,0112 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi Sg3 = 17 Bar pada T : 230

$$Ta = 200 \quad Sa = 6,455 \text{ kJ/kg}, k$$

$$T3 = 230 \quad S3 = ?$$

$$Tb = 240 \quad Sb = 6,663 \text{ kJ/kg}, k$$

$$S_{g3} = Sa + \frac{(T3 - Ta)}{(Tb - Ta)} \times (Sb - Sa)$$

$$S_{g3} = 6,455 \text{ kJ/kg}, k + \frac{(230 - 200)}{(240 - 200)} (6,663 - 6,455) \text{ kJ/kg}, k$$

$$S_{g3} = 6,611 \text{ kJ/kg}, k$$

Interpolasi Sf4 = 3,2 Bar -

$$Pa = 3 \quad Sa = 1,672 \text{ kJ/kg}, k$$

$$P4 = 3,2 \quad S4 = ?$$

$$Pb = 4 \quad Sb = 1,777 \text{ kJ/kg}, k$$

interpolasi untuk mencari nilai Sf4

$$S_{f4} = Sa + \frac{(P4 - Pa)}{(Pb - Pa)} \times (Sb - Sa)$$

$$S_{f4} = 1,693 \text{ kJ/kg}, k$$

Mencari nilai kualitas uap (x)

$$X = \frac{S_{g3} - S_{f4}}{S_{a4} - S_{f4}}$$

$$X = \frac{6,611 - 1,693}{7,0112 - 1,693}$$

$$X = 0,924$$

interpolasi untuk mencari nilai hf4

interpolasi hf4 = 3,2 bar

$$Pa = 3 \quad ha = 561,5 \text{ kJ/kg}, k$$

$$P4 = 3,2 \quad hf4 = ?$$

$$Pb = 4 \quad hb = 604,8 \text{ kJ/kg}, k$$

$$hf4 = ha + \frac{(P4 - Pa)}{(Pb - Pa)} \times (hb - ha)$$

$$hf4 = 561,5 \text{ kJ/kg} + \frac{(3,2 - 3)}{(4 - 3)} \times (604,8 - 561,5) \text{ kJ/kg}$$

$$hf4 = 570,16 \text{ kJ/kg}$$

Maka digunakan interpolasi untuk mencari nilai hg4

interpolasi hg4 = 3,2 bar

$$Pa = 3 \quad ha = 2725 \text{ kJ/kg}, k$$

$$P4 = 3,2 \quad hf4 = ?$$

$$Pb = 4 \quad hb = 2739 \text{ kJ/kg}, k$$

$$hg4 = ha + \frac{(P4 - Pa)}{(Pb - Pa)} \times (hb - ha)$$

$$hg4 = 2725 \text{ kJ/kg} + \frac{(3,2 - 3)}{(4 - 3)} \times (2739 - 2725) \text{ kJ/kg}$$

$$hg4 = 2727,8 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai entalphi keluar turbin dalam kondisi isentropis (hfg4)

$$hfg4 = hf4 + x, (hg4 - hf4)$$

$$hfg4 = 570,16 + 0,964 (2727,8 - 570,16)$$

$$hfg4 = 223,376 \text{ kJ/kg}$$

$$WT = hg3 - hfg4$$

$$WT = (2873,5,61 - 2650,124) \text{ kJ/kg}$$

$$WT = 223,3761 \text{ kJ/kg}$$

Perhitungan Turbin Uap

$$h_{turbin} = \frac{WT - Wp}{Qin} \times 100\%$$

$$h_{turbin} = \frac{223,376 \text{ kJ/kg} - 0016321 \text{ kJ/kg}}{2575,124 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

Eff. turbin = 8,683 %

Perhitungan Generator

$$h_{genr} = \frac{W_g}{W_g} \times 100\%$$

$$h_{genr} = \frac{539 \text{ Kw}}{800 \text{ Kw}} \times 100\%$$

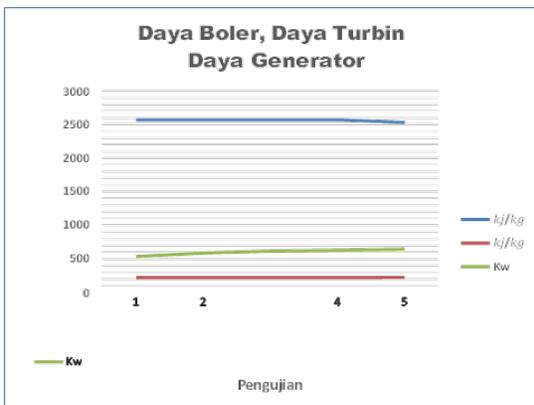
Eff.genr = 67,37 %

Perhitungan diatas khusus untuk perhitungan data ke 1, dengan cara yg sama rekap data perhitungan dapat dilihat pada table4,, dibawah.

Tabel 5. Rekap Perhitungan

Data suhu	Pompa		Boiler		Turbin		Daya Pompa	Pemasukan Kalor	Daya Turbin	Efisiensi Turbin	Efisiensi GENERATOR
	Air Umpan	Tekanan Masuk	Tekanan	Suhu	Tekanan Keluar (BPV)	Daya Generator					
	(°C)	(Bar)	(Bar)	(°C)	(Bar)	Kw	KJ/KG	KJ/KG	KJ/KG	%	%
1	72	1.5	17	230	3.2	539	0.016	2572	223	8.68	67,3
2	71	1.5	18	229	3.3	589	0.017	2574	219	8.52	73.6
3	72	1.5	17	230	3.4	617	0.016	2572	220	8.57	77.1
4	70	1.5	18	229	3.1	628	0.017	2574	222	8.64	78.5
5	82	1.5	18	220	3	644	0.017	2530	226	8.50	80.5
Rata,2	73.4	1.5	18	228	3.2	603	0.017	2564	222	8.58	77.4

Pada operasional sisem pembangkit tenaga uap daya generator diambil panel daya dan daya turbin dapat dihitung dengan mencari selisih entalphi uap masuk dan uap keluar turbin, sedang daya boiler dihitung dengan mencari selisih entalphi uap masuk dan entalphi air masuk pompa .dari hasil perhitunga dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



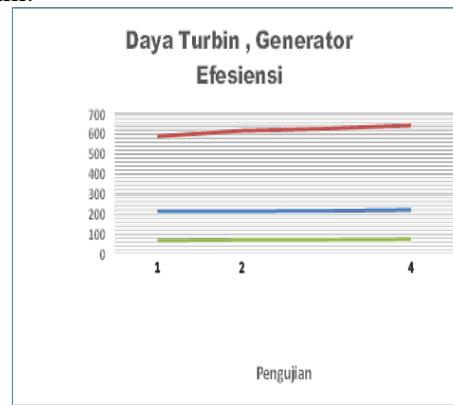
	1	2	3	4	5
kJ/kg	2572	2574	2570	2574	2530
kJ/kg	223	219	220	222	226
Kw	539	589	617	628	644

Gambar 11. Daya Boiler Daya turbin dan daya Generator

Dari gambar tersebut diatas daya generator terkecil 539 kW pada daya boiler 2572 kJ/kg dan daya turbin 223 kJ/kg, sedang daya generator tebesar 644 kW pada daya boiler 2530 kJ/kg dan daya turbin 226 kJ/kg.

Daya turbin, Daya Generator dan thermal

Pada operasional sisem pembangkit tenaga uap daya generator diambil panel daya dan daya turbin dapat dihitung dengan mencari selisih entalphi uap masuk dan uap keluar turbin, sedang efesinsi thermal dihitung dengan membagi antara daya generator dengan data spek generaor (800 kW) dari hasil perhitungan dapat ditunjukkan pada gambar tersebut dibawah ini.



	1	2	3	4
kJ/kg 223	219	220	222	226
Kw 539	589	617	628	644
% 67,3	73,6	77,1	78,5	80,5

Gambar 12. Daya Turbin, Daya Generator Efisiensi

Dari gambar diatas efisiensi 73,6 % pada daya generator 599 watt dan terbesar 80,5 % pada daya generator 644 kW, sehingga makin besar daya generator makin besar termal nya

SIMPULAN

Besar daya pada komponen komponen sistem pembangkit uap adalah sebagai berikut :

- a. Daya pompa rata rata adalah 0.017 kJ/Kg
- b. Daya Boiler rata rata adalah 2564 kJ/Kg
- c. Daya Turbin rata rata adalah 222 kJ/Kg
- d. Daya Generator rata rata adalah : 603 kw

Dari perhitungan didapat daya generator yang makin besar efisiensi thermal meningkat, 73,6 % pada daya generator 599 watt dan terbesar 80,5 % pada daya generator 644 kw,

DAFTAR PUSTAKA

- Djokosetyardjo (ketel uap cahapter (2006)
Superheater konveksi arus
kombinasi,konveksi arus berlawanan dan
konveksi arus searah.
- Djokosetyarjo ,I,M,J, 1989,Ketel Uap, Edisi
1,PT, Pradnya Paramita, Hammada Abbas,
Jurnal Volume 15, Nomor 02, Oktober
2020 ANALISIS
- F. Maulidiya and M. N. Melatih, "Analisis
Pengaruh Tekanan Kondensor Terhadap
Daya Turbin Sistem PLTU," Seminar
Nasional Teknik Mesin, 2016.
- R. Syammary, Hendri, and Lukfianto, "Analisis
Turbin Gas Tipe V94.2 Sebelum dan
Sesudah Minor Inspection pada Blok 4
Unit 3 PLTGU Muara Tawar," Power
Plant, vol. 8, no. 2, p. 11, 2020.
- Sihombing, V., Haryanto, N., & Saodah, S.
(2014). Analisis Perhitungan Ekonomi
dan Potensi Penghematan Energi Listrik
Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap di
Pabrik Kelapa Sawit PT. X. Jurnal Reka
Elkomika, 2(2), 90-120.
- Sunarwo and Supriyo , "Analisa Heat Rate Pada
Turbin Uap Berdasarkan Performance
Test PLTU Tanjung Jati B Unit 3,"
EKSERGI, pp. 61-68, 2015.
- Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, (2013)
Boiler pada dasarnya penukar kalor yang
besar dimana sumber panas dari
pembakaran gas, reaktor nuklir atau
sumber yang lain ditransfer secara
esensial ke air pada tekanan konstan.