

ANALISA EFISIENSI TURBIN UAP BERBAHAN BAKAR FIBER DAN CANGKANG SAWIT PADA BOILER DI PT. TRI BAKTI SARIMAS UNTUK PRODUKSI-MEMPRODUKSI ENERGI LISTRIK

Rizky Karamallah¹⁾, Suwitno²⁾

Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email : rizky.karamallah@student.unri.ac.id; suwitnoannisa@gmail.com

ABSTRACT

At this time the need for electrical energy continues to increase, power plants that use non-renewable natural resources are more dominantly used to meet the growing needs of electrical energy. Renewable energy is the solution to this problem. Biomass is a type of renewable energy sourced from living or dead biological materials that can be used as a fuel source in plants. Applications for the use of renewable energy sources in the form of biomass can be analyzed at PT Tri Bakti Sarimas. Where this company uses fiber and palm shell as fuel in boilers. By using fiber and palm shell as renewable fuel in boilers, so as to increase the efficiency value of the turbine. The study used the rankine cycle method to get efficiency values on turbines. From the results of thermal efficiency calculations used can be seen only 33.78% of the power provided into the boiler that can be converted into mechanical energy. At the efficiency value in steam power generation (PLTU) rank for pltu is 25%-50%. The efficiency of the turbine obtained is 33.78% while the efficiency of the generator is 62.5%. the required fibers as much as 7200 kg / hour and palm shells as much as 1800 kg / hour. The resulting turbine power is 2987.97 KW and the electricity generated is 983 KWh.

Keyword : rankine cycle, turbine, fiber, palm shell

1. PENDAHULUAN

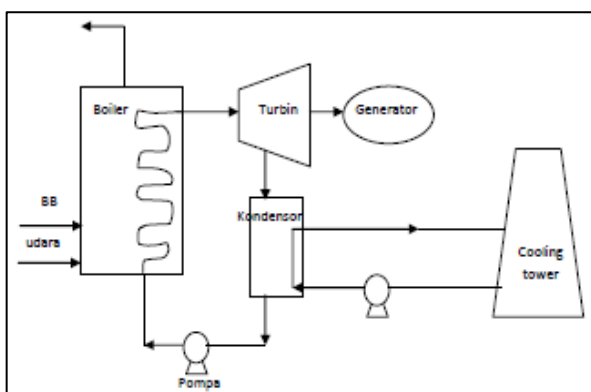
Pada saat ini kebutuhan akan energi listrik terus mengalami peningkatan. Pembangkit listrik yang menggunakan sumber daya alam tak terbarukan lebih dominan digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat. Minyak bumi, batu bara, dan gas alam merupakan contoh sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui atau konvensional. Ketersediaan sumber daya alam konvensional ini semakin lama semakin menipis sehingga harus segera dilakukan inovasi serta pemberdayaan sumber energi yang dapat diperbarui sebagai pengganti sumber daya alam yang konvensional. Maka energi terbarukan merupakan solusi untuk menyelesaikan permasalahan ini. Dengan menggunakan pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar yang dapat diperbarui untuk mengoperasikannya. Dengan adanya solusi ini perusahaan pun tidak perlu khawatir lagi akan masalah penyediaan listrik untuk aktifitas produksi karena penggunaan energi *renewable* dapat dilakukan secara terus menerus.

Biomassa merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang bersumber dari bahan biologis yang hidup atau mati yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar pada pembangkit. Aplikasi pemanfaatan penggunaan sumber energi terbarukan berupa *biomassa* dapat dianalisa di PT Tri Bakti Sarimas. Dimana perusahaan ini menggunakan *fiber* dan cangkang sawit sebagai bahan bakar pada *boiler*. *Fiber* adalah limbah sawit yang dihasilkan dari hasil pengolahan pemerasan buah sawit pada saat proses kempa (*press*) yang berbentuk pendek seperti benang dan berwarna kuning kecoklatan, sedangkan cangkang merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pemrosesan kernel ini sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa namun berbentuk kecil. Dengan menggunakan *fiber* dan cangkang sawit sebagai bahan bakar terbarukan pada *boiler* dapat meningkatkan nilai efisiensi pada turbin. Dalam mengoperasikan turbin perlu dilakukannya pengaturan efisiensi pada turbin untuk dapat menghasilkan listrik yang bagus dan

menghemat biaya operasi sehingga energi listrik yang dihasilkan pun besar dan cukup untuk memenuhi kebutuhan perusahaan dan perumahan pekerja akan energi listrik, maka dalam tugas akhir ini diusulkan penelitian tentang efisiensi turbin dan penulis mengambil judul “Analisa Efisiensi Turbin Uap Berbahan Bakar Fiber Dan Cangkang Sawit Pada Boiler Di PT. Tri Bakti Sarimas Untuk Produksi-Memproduksi Energi Listrik”.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit listrik tenaga uap adalah pembangkit yang mengendalikan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin dimana untuk memutar turbin diperlukan energi kinetik dari uap panas atau kering. Komponen – komponen pada pembangkit listrik tenaga uap tersebut dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Komponen – Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Oloni Togu S, 2014)

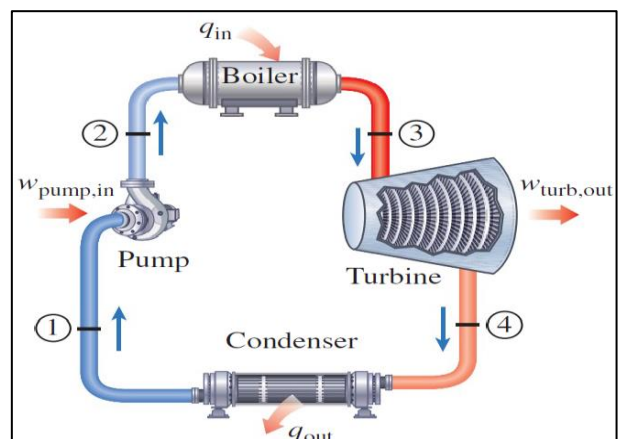
Secara umum PLTU merupakan suatu mesin konversi energi, dimana energy primer yang di konversikan menjadi energi listrik adalah bahan bakar, disini menggunakan bahan bakar batubara dan saat awal menggunakan HSD (high speed diesel). Konversi tingkat pertama adalah konversi energi primer menjadi energi (kalor) panas yang dilakukan di dalam ruang bakar dari ketel uap PLTU. Energi panas kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam pipa ketel untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan dalam boiler. Uap dari boiler dialirkan dengan nozel untuk memutar turbin uap, dimana energi (enthalpy) uap di konversikan menjadi energi mekanis penggerak generator dan akhirnya energi mekanik dari turbin

uap ini di konversikan menjadi energi listrik oleh generator.

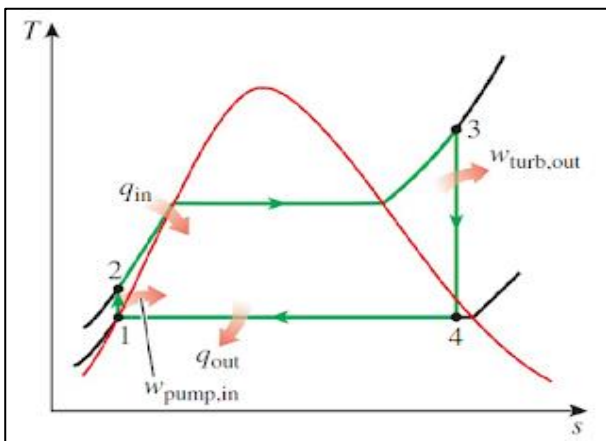
Siklus Rankine

Siklus *rankine* adalah sebuah siklus yang mengkonversi energi panas menjadi kerja / energi gerak. Sistem kerja pada siklus *rankine* panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai *fluida* yang bergerak. Fluida yang digunakan akan mengalir secara konstan. Aliran fluida terjadi karena adanya masukan panas eksternal dan akan terjadi perubahan tekanan dalam aliran. Dalam hal ini efisiensi dari siklus rankine bergantung pada fluida bertekanan tersebut. Besarnya efisiensi siklus rankine ideal berkisar sekitar 42%. (Wibisono. G, 2019).

Cara kerja siklus *rankine* terdiri dari dari 4 komponen dasar yaitu boiler, turbin, kondensor dan pump (pompa). Setiap komponen ini mempunyai fungsi yang sangat penting dalam melakukan kerja dalam siklus *rankine*. Boiler berfungsi sebagai tempat penampungan air yang juga akan dikonversikan menjadi uap kerja. Kemudian turbin berfungsi sebagai alat yang mengkonversi uap kerja menjadi energi gerak. Lalu kondensor berfungsi sebagai tempat mengkonversikan uap yang telah digunakan menggerakkan turbin menjadi air kembali. Dan yang terakhir adalah pompa yang berfungsi memindahkan air dari kondensor ke dalam boiler untuk dipanaskan ulang oleh boiler menjadi uap. (Putra D A, 2017).



Gambar 2. Skema Siklus Rankine (Fauzan Suryo W, 2019)



Gambar 3. Diagram T-s Siklus Rankine (Fauzan Suryo W, 2019)

Pada gambar diatas terjadi beberapa proses perubahan kondisi, Perubahan kondisi tersebut berupa:

- Proses 1-2 adalah proses penekanan secara isentropis oleh pompa. Pada proses ini kerja masuk kedalam sistem (W_{pompa}) (Fauzan Suryo W, 2019).

$$W_{pompa} = h_2 - h_1 \quad (1)$$

- Proses 2-3 adalah proses pada tekanan konstan yang berlangsung pada boiler. Pada proses ini kalor masuk kedalam sistem (Q_{in}) (Fauzan Suryo W, 2019).

$$Q_{in} = h_3 - h_2 \quad (2)$$

- Proses 3-4 adalah proses ekspansi isentropis (adiabatis reversibel) yang berlangsung di dalam turbin uap. Pada proses ini terjadi kerja keluar sistem (W_{out}) (Fauzan Suryo W, 2019).

$$W_{turbin} = h_3 - h_4 \quad (3)$$

- Proses 4-1 adalah proses pada tekanan konstan yang berlangsung di dalam kondensor. Proses ini kalor keluar dari sistem pembuang kalor (Q_{out}) (Fauzan Suryo W, 2019).

$$Q_{out} = h_4 - h_1 \quad (4)$$

Dimana :

W_{pompa} = kerja pompa (KW)

W_{turbin} = kerja turbin (KW)

Q_{in} = energi panas (kalor) dalam boiler (kg/jam)

Q_{out} = energi panas (kalor) dalam kondensor (kg/jam)

h_1 = entalpy air keluar kondensor (kj/kg)

h_2 = entalpy air masuk boiler (kj/kg)

h_3 = entalpy uap keluar boiler (kj/kg)

h_4 = entalpy uap keluar turbin (kj/kg)

Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan.



Gambar 4. Turbin Uap Super Heater (PT Tri Bakti Sarimas, 2003)

Turbin yang digunakan di PT Tri Bakti Sarimas memiliki dua unit turbin yaitu dua unit turbin superheater yang memiliki daya 3352,555 HP, frekuensi 50 Hz dan putaran 5.963 rpm.

Genset

Genset merupakan alat pembangkit tenaga listrik yang digerakkan oleh mesin diesel. Alat ini menggunakan bahan bakar berupa minyak solar dan digunakan pada saat pabrik mulai beroperasi (start up) setelah dicapai kondisi stabil, maka fungsinya digantikan oleh steam turbine. Genset juga merupakan pembangkit tenaga listrik alternatif jika steam turbine tidak beroperasi (pabrik shut down atau boiler rusak).



Gambar 5. Genset (*Generator Set*)
(Zikir Akbar K, 2020)

Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin merupakan parameter yang menyatakan derajat keberhasilan komponen atau sistem turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan %. Efisiensi *thermal* dapat dihitung dengan persamaan (Wibawa. R, 2012) :

$$\eta_{th} = \frac{W_T - W_P}{q_{in}} \quad (5)$$

Dimana :

η_{th} = Efisiensi thermal (%)

W_T = Kerja turbin (kj/kg)

W_P = Kerja pompa (kj/kg)

q_{in} = Kalor yang masuk sistem (kj/kg)

Efisiensi Generator

Secara umum efisiensi dapat di definisikan sebagai perbandingan antara output terhadap input dalam suatu proses. Efisiensi merupakan salah satu persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energy yang terjadi. Daya masukan untuk generator berupadaya mekanik atau sama dengan gaya yang di hasilkan oleh turbin, karena turbin dengan generator di kopel dan bekerja bersama dan menghasilkan daya keluaran berupa daya listrik. Untuk menghitung efisiensi dari generator menggunakan persamaan 2.7 (B. Kurniasari, 2017) :

$$\eta_{gen} = \frac{Beban}{P_{Turbin}} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana :

η_{gen} = Efisiensi generator (%)

$Beban$ = Daya beban generator (kW)

P_{Turbin} = Daya turbin (MW)

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan cara mengumpulkan data dari PT Tri Bakti Sarimas dan untuk selanjutnya akan dilakukan analisa perhitungan efisiensi turbin dan generator di PT Tri Bakti Sarimas.

Balance Untuk Bahan Bakar, Uap dan Power

- Untuk kapasitas 60 Ton TBS/Jam di peroleh = 7200 kg *fiber*/jam dan 1800 kg *shell*/jam
- Panas untuk menghasilkan 1 Kg uap (20 Kg/ CM^2 temp.212,4°C) adalah 2797 KJ/Kg=669 k KAL/Kg
Sehingga = $\frac{42,71 \times 10^6}{669} = 63.842 \text{ Kg uap/jam}$

- Total Electric power available (P)*

= Ma/St

= 23600 kg/jam : 24 kg/jam

= 983 kW

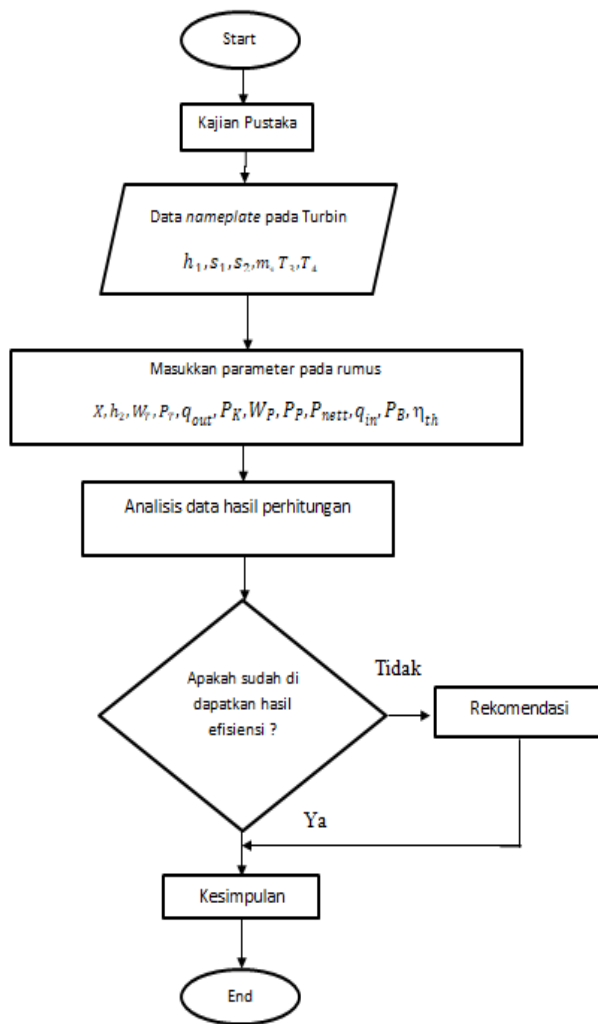
Tabel 1. Balance Untuk Bahan Bakar, Uap dan Power

Bahan Bakar	kKAL/Kg	BTU/LB	Kj/Kg
Fiber	4700	8400	19678
Shell/cangkang	4950	8910	20725
Empty bunch	4200	7560	17585

(Satheesan Menon, VPM 1)

Flowchart Penelitian

Adapun langkah – langkah penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan hasil analisa efisiensi pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), analisa efisiensi fisik dari turbin, boiler.

Nilai Efisiensi Turbin Memerlukan Beberapa Data dari PT. Tri Bakti Sarimas

Tahap 1

Entalpi uap masuk turbine, $h_1 = 3104,8 \text{ kJ/kg}$
 Entropi uap masuk turbine $S_1 = 6,660 \text{ kJ/kg}$
 Entropi, $S_1 = S_2$

Tahap 2

Pada tekanan 0,1 barr (10kPa) di dapat (*saturated*)
 Kemudian fraksi (kadar) uap (X) dapat di hitung (Suwitno, 2017):

$$X = \frac{s_2 - s_{f2}}{s_{fg2}} \quad (7)$$

Entalpi fase uap (h_{g2}) = 2583,9 kJ/kg

Face cair (h_{f2}) = 191,8 kJ/kg

Perubahan fase (h_{fg2}) = 2392,1 kJ/kg

Entropi fase uap (s_{g2}) = 8,1488 kJ/kg

Fase cair (s_{f2}) = 0,6492 kJ/kg

Perubahan fase (s_{fg2}) = 7,4996 kJ/kg

Fraksi (kadar) uap (X) dapat di hitung (Suwitno, 2017) :

$$X = \frac{s_2 - s_{f2}}{s_{fg2}} = \frac{6,660 - 0,6492}{7,4996} = 0,8014$$

Artinya kadar uap yang keluar dari turbin menuju kondensor adalah 80,14% atau fluida yang keluar dari turbin 80,14% uap dan 19,86% cair.

Bagian yang cair ini tidak perlu lagi di embunkan, tetapi 80,14% uap ini yang harus di buang kalornya supaya fasenya berubah menjadi cair.

Maka energi total yang terkandung dalam 80,14% uap dapat di hitung (Suwitno, 2017):

$$X = \frac{h_2 - h_{f2}}{h_{fg2}}$$

$$0,8014 = \frac{h_2 - 191,8}{2392,1}$$

$$h_2 = (0,8014 \times 2392,1) + 191,8$$

$$= 2108,82894 \text{ kJ/kg}$$

Tahap 3

Pada tahap 3, kerja turbin dapat di hitung dengan persamaan (Suwitno, 2017) :

$$W_T = h_1 - h_2 \quad (8)$$

Maka kerja turbin dapat di hitung yaitu:

$$W_T = h_1 - h_2$$

$$= 3104,8 - 2108,82$$

$$= 995,98 \text{ kJ/kg}$$

Tahap 4

Selanjutnya untuk mencari daya turbin dapat di cari menggunakan persamaan (Suwitno, 2017) :

$$P_T = W_T \times m \quad (9)$$

Daya turbin adalah:

$$P_T = 995,98 \times 3 = 2987,97 \text{ kW} = 2,9 \text{ MW}$$

Tahap 5

Kalor yang di buang kondensor (Suwitno, 2017) :

$$q_{out} = h_2 - h_3 \quad (10)$$

h_2 Adalah entalpi uap yang masuk ke kondensor = 2108,82 kJ/kg

h_3 Adalah entalpi uap yang keluar dari kondensor = 191,8 kJ/kg

Maka kalor yang di buang oleh kondensor adalah:

$$q_{out} = 2108,82 - 191,8 \\ = 1917,02 \text{ kJ/kg}$$

Tahap 6

Daya kondensor yang di butuhkan untuk membuang kalor tersebut adalah (Suwitno, 2017):

$$P_k = q_{out} \times m \quad (11)$$

$$P_k = 1917,02 \times 3 = 5751,06 \text{ kW}$$

Tahap 7

Kerja pompa dapat di hitung dengan rumus (Suwitno, 2017):

$$W_p = v(p_4 - p_3) = h_4 - h_3 \quad (12)$$

v = Volume jenis air pada tekanan kondensor 0,1 barr = 0,00101 m³/kg

$$p_4 = p_1 \quad (13)$$

Tekanan air keluar pompa = tekanan boiler (proses ideal tidak ada rugi-rugi tekanan).

$$\text{Maka } p_4 = p_1 = 175 \text{ barr} = 17,5 \text{ MPa}$$

p_3 Tekanan air masuk pompa = tekanan keluar kondensor, untuk proses ideal tidak ada rugi-rugi tekanan $p_2 = 0,1 \text{ barr} = 10 \text{ KPa}$

Maka kerja pompa :

$$W_p = v(p_4 - p_3) = h_4 - h_3 \\ W_p = 0,00101(17500 - 10) = 17,6649 \text{ kJ/kg}$$

Tahap 8

Bila aliran massa air yang di pompa 3 kg/s. Maka daya yang di perlukan oleh pompa adalah (Suwitno, 2017):

$$P_p = W_p \times m \\ = 17,6649 \times 3 = 52,9947 \text{ KW}$$

Tahap 9

Daya netto siklus (Suwitno, 2017):

$$P_{nett} = 2987,94 - 52,9947 = 2934,9453 \text{ KW}$$

Tahap 10

Kalor yang masuk ke sistem (q_{in}) dapat di hitung (Suwitno, 2017):

$$q_{in} = h_1 - h_4$$

h_1 Entalpi uap panas lanjut keluar dari boiler = 3104,8 kJ/kg

h_4 Entalpi air keluar pompa yang besarnya = entalpi air masuk pompa + kerja pompa.

$$\text{Maka } h_4 = 191,8 + 17,6649 = 209,4749 \text{ kJ/kg}$$

Maka kalor yang ke sistem adalah :

$$q_{in} = 3104,8 - 209,4749 \\ = 2895,3251 \text{ kJ/kg}$$

Tahap 11

Daya yang di hasilkan boiler (Suwitno, 2017):

$$P_B = q_{in} \times m \quad (14) \\ P_B = 2895,3251 \times 3 = 8685,9753 \text{ KW}$$

Tahap 12

Efisiensi termodinamika siklus adalah (Suwitno, 2017):

$$\eta_{th} = \frac{W_T - W_P}{q_{in}} \\ = \frac{995,98 - 17,6649}{2895,3251} \\ = 0,3378 = 33,78\%$$

Dari hasil perhitungan dapat di lihat hanya 33,78% dari daya yang di berikan ke dalam boiler yang dapat di ubah menjadi energy mekanis, Sisanya hilang atau di buang ke alam melalui kondensor dan ada sebagian kecil yang di gunakan untuk menggerakkan pompa.

Tahap 13

Untuk mengetahui daya masukan generator maka dapat diketahui dari daya keluaran turbin uap. Daya yang dihasilkan oleh turbin uap dapat di hitung dengan menggunakan persamaan (B. Kurniasari, 2017):

Entalpi uap masuk turbine, $h_3 = 3104,8 \text{ kJ/kg}$

Entropi uap masuk turbine $S_1 = 6,660 \text{ kJ/kg}$

Entropi, $S_1 = S_2$

Entalpi keluar turbin $= h_4 = 2589,89 \text{ kJ/kg}$

$T = 350^\circ \text{C}$

Efisiensi generator 62,5%

Tahap 14

Kemudian pada tekanan 0,3 barr (30 kPa) di dapat (*saturated*):

Kemudian fraksi (kadar) uap (X) dapat di hitung (B. Kurniasari, 2017):

$$X = \frac{s_2 - sf_2}{sf_{g_2}}$$

Entalpi fase uap (hg_2) = 2724,9 kJ/kg
 Fase cair (hf_2) = 561,4 kJ/kg
 Perubahan fase (hfg_2) = 2163,5 kJ/kg

Entropi fase uap (sg_2) = 6,9916 kJ/kg
 Fase cair (sf_2) = 1,6717 kJ/kg
 Perubahan fase (sf_{g_2}) = 5,3199 kJ/kg

Fraksi (kadar) uap (X) dapat di hitung :

$$X = \frac{s_2 - sf_2}{sf_{g_2}} = \frac{6,660 - 1,6717}{5,3199} = 0,9376$$

Artinya kadar uap yang keluar dari turbin menuju kondensor adalah 93,76% atau fluida yang keluar dari turbin 93,76% uap dan 6,24% cair.

Bagian yang cair ini tidak perlu lagi di embunkan, tetapi 93,76% uap ini yang harus di buang kalornya supaya fasenya berubah menjadi cair.

Maka energi total yang terkandung dalam 93,76% uap dapat di hitung:

$$X = \frac{h_2 - hf_2}{hfg_2}$$

$$0,9376 = \frac{h_2 - 561,4}{2163,5}$$

$$h_2 = (0,9376 \times 2163,5) + 561,4 \\ = 2589,8976 \text{ kJ/kg}$$

Tahap 15

Efisiensi generator di dapat dari data lanjutan tahap 14, Kemudian, maka kerja turbin dapat di hitung dengan rumus. Untuk menghitung kerja dari turbin uap maka diperlukan data seperti laju aliran massa turbin uap dan entalpi. Dapat dihitug dengan persamaan (B. Kurniasari, 2017) :

$$W_T = m(h_3 - h_4) \\ = 13500 \text{ kJ/kg} (3104,8 - 2589,89) \\ = 6951285 \text{ kJ/h} \\ = 1,9 \text{ MW}$$

Tahap 16

Kemudian, daya pada generator bisa di hitung menggunakan persamaan berikut (B. Kurniasari, 2017) :

$$P_{TG} = \eta_{gen} \cdot \eta_{turbin} \cdot W_T \\ = 62,5\% \times 33,78\% \times 1,9 \text{ MW} \\ = 0,4 \text{ MW}$$

Tahap 17

Selanjutnya, untuk memastikan efisiensi pada generator sebesar 62,5% dapat di hitung menggunakan persamaan berikut (B. Kurniasari, 2017) :

$$P_T = W_T \cdot \eta_{turbin} \\ = 1,9 \text{ MW} \times 33,78\% \\ = 0,6 \text{ MW} \\ \eta_{generator} = \frac{\text{Beban}}{P_{Turbin}} \times 100\% \\ = \frac{0,4}{0,6} \times 100\% \\ = 0,625 = 62,5\%$$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada pembangkit listrik tenaga uap, maka dapat disimpulkan bahwa dari hasil perhitungan efisiensi thermal yang digunakan dapat di lihat hanya 33,78% dari daya yang di berikan ke dalam boiler yang dapat di ubah menjadi energi mekanis, Sisanya hilang atau di buang ke alam melalui kondensor dan ada sebagian kecil yang di gunakan untuk menggerakkan pompa. Nilai efisiensi pada pembangkitan listrik tenaga uap (PLTU) rank untuk PLTU yaitu 25%-50%. Dikarenakan bahan bakar yang digunakan berupa fiber dan cangkang sawit maka untuk analisa yang saya dapatkan 33,78% hal ini dapat dinyatakan efisien, walaupun efisiensinya masih terbilang rendah dibandingkan bahan bakar PLTU yang sudah ada. Efisiensi generator yang didapatkan sebesar 62,5%. Kapasitas bahan bakar dengan fiber dan cangkang sawit untuk menghasilkan energi listrik adalah 60 ton/jam = 33.000 kg uap/jam=33 Ton uap/jam, bahan bakar boiler cukup untuk mengoperasikan boiler berkapasitas 30 ton uap/jam sebanyak 2 unit. 4. Daya turbin yang dihasilkan sebesar 2987,97 KW dan energi listrik yang dihasilkan sebesar 983 KWh dan pada penggunaan bahan bakar fiber dan cangkang sawit ini dapat lebih hemat dan dapat membuat masa pakai turbin jadi lebih tahan lama.

DAFTAR PUSTAKA

Agus Dwi Putra, Ismail Yusuf, Usman A. Gani (2014). Studi Potensi Limbah Biomassa Kelapa sawit Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu. Jurnal Jurusan Teknik Elektro Universitas Tanjung Pura, Pontianak.

- B. Kurniasari, dkk. (2017). Analisa Efisiensi Turbin Generator Berdasarkan Kualitas Daya Pada PLTU Pabrik Gula Madukismo. Jurnal Teknik Elektro Insitut Sains & Teknologi AKPRIND. Yogyakarta.
- Hie Khwee (2019). Analisis Potensi Fiber dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Sumber Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT Pundi Lahan Khatulistiwa. Jurnal Jurusan Teknik Elektro Universitas Tanjung Pura, Pontianak.
- Oloni Togu Simanjuntak, Ir. Syamsul Amien, MS (2014). Studi Keandalan (Reliability) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Labuhan Angin Sibolga. Jurnal Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Prayudi, Hendri (2017). Analisis Peforma Kondensor di PT Indonesia Power UJP PLTU Lontar Banten Unit 2. Jurnal Power Plant Jurusan Teknik Mesin STT – PLN, Jakarta Barat.
- Siswanto, J. E.,(2020). Analisis limbah kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler dan menggunakan variasi campuran antara fiber dan cangkang buah sawit, Journal of Electircal Power Control and Automation, Volume 3, No 1. Universitas Batanghari, Jambi.
- Sunarwo., Harijono, T., (2016). Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum Dan Setelah Overhaul Combustor Inspection di PLN (PERSERO) Sektor Pembangkit PLTGU Cilegon, Jurnal Teknik Energi Volume 12, No.2, Politeknik Negeri Semarang, Semarang.
- Suwitno (2017). Bahan Ajar Analisa Pembangkitan. Universitas Riau. Pekanbaru.