

OPTIMALISASI UNTUK MENGHASILKAN EFISIENSI IDEAL TURBIN UAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA KAPASITAS 20 MW

Habibi Santoso

Program Studi Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI
Jl. Nangka No.58C (TB Simatupang) Tanjung Barat, Jagakarsa
Jakarta Selatan
habibisantoso@yahoo.com

Abstrak

Krisis energi merupakan salah satu permasalahan yang dialami Indonesia. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan sampah menjadi energi listrik, serta dapat menjadi solusi untuk permasalahan sampah yang sekian lama semakin menumpuk di banyak area di Indonesia. Penelitian ini adalah bagian dari perancangan awal PLTU dengan sumber energi Biomassa (sampah). Penelitian ini mencakup perancangan awal siklus *rankine*, antara lain menentukan jenis turbin apa yang digunakan apakah turbin reaksi atau impuls, berapa poros turbin, menentukan siklus sederhana, *regeneratif* atau siklus termodifikasi yang lain. Langkah-langkah yang dilakukan adalah membandingkan secara termodinamika kelebihan dan kekurangan siklus *rankine* sederhana dengan siklus *regeneratif*. Parameter yang digunakan sebagai pembanding adalah efisiensi termal, kerja *netto* dan rasio kerja. Dari hasil perhitungan didapatkan turbin uap dengan jenis turbin impuls satu poros, siklus yang digunakan *regeneratif* dengan 3 *feedwater Heater* karena dapat menaikkan efisiensi menjadi 50% jika dibandingkan dengan siklus regeneratif sederhana yang efisiensinya hanya 37%.

Kata kunci: siklus *rankine*, *regeneratif*, kerja *netto*

Abstract

The energy crisis is one of the problems facing by Indonesia. One solution to overcome this problem is turning waste into electricity, leading to a solution to the long-standing waste problems in many areas in Indonesia. This research is part of the initial design of PLTU with Biomassa (Waste) energy sources. This research covers the initial design of the rankine cycle that includes determining the type of turbine to be used, whether the reaction turbine or impulse turbine and the number of turbine shaft and determining a simple, regenerative cycle or another modified cycle. The step taken is comparing thermodynamically the advantages and disadvantages of the simple rankine cycle with the regenerative cycle. The parameters used as the standard of comparison are thermal efficiency, net work and work ratio. From the calculation results, it is determined to use a steam turbine with the type of one-shaft impulse turbine using a regenerative cycle with 3 feedwater heaters because it can increase efficiency up to 50% when compared to a simple regenerative cycle with efficiency of 37%.

Keywords : Rankine cycle, regenerative cycle, net work

1. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah kebutuhan utama yang tidak dapat diabaikan dalam kehidupan sehari-hari, baik di sektor rumah tangga, sektor industri atau swasta dan sektor pemerintahan. Dengan meningkatnya

jumlah penduduk semakin bertambah pula kebutuhan energi listrik.

Bahan bakar fosil baik berupa minyak, batubara dan gas alam terus menjadi sumber utama energi di dunia. Meningkatnya kebutuhan energi akan

mempercepat habisnya bahan bakar fosil terbatas.

Permasalahan lingkungan dan ekonomi merupakan alasan utama yang mendorong pemanfaatan energi baru dan terbarukan di seluruh dunia. Oleh karena itu sebagian negara yang memaksimalkan potensi energi terbarukan di wilayahnya dengan melakukan pengembangan-pengembangan di bidang teknologi.

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun limbah, seperti tanaman, rumput, dedaunan, limbah pertanian, limbah hutandan kotoran ternak.

Konsep Pengolahan Sampah menjadi Energi (*Waste to Energy*) atau PLTBM (Pembangkit Listrik Tenaga *biomassa*) secara ringkas adalah sebagai berikut :

A. Pemilahan sampah

Sampah dipilah untuk memisahkan sampah yang dapat didaur ulang. sisa sampah dimasukkan kedalam sebuah alat, yaitu Insinerator untuk dibakar.

B. Pembakaran sampah

Proses pembakaran sampah dapat menggunakan teknologi pembakaran yang dapat dilakukan dengan efektif dan aman bagi lingkungan. Pada proses ini, suhu pembakaran harus dipertahankan dalam temperatur yang tinggi. Asap hasil pembakaran yang keluar juga dilakukan penanganan khusus agar asap yang keluar dapat memenuhi standar mutu emisi gas buang yang aman.

C. Pemanfaatan panas

Pembakaran sampah ini akan menghasilkan temperatur yang tinggi dan dapat digunakan sebagai pemanas pada Boiler atau ketel uap. Uap bertekanan yang dihasilkan tersebut digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin dan diteruskan untuk memutar generator listrik.

Berdasarkan data TPA (Tempat Pembuangan Akhir) dari Dirjen EBTKE (Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi) dan potensi energi yang dihasilkan dihitung dengan ketentuan 1 ton sampah dapat digunakan untuk pembangkit 18 kW, sehingga sampah yang dibutuhkan untuk pembangkit listrik dengan kapasitas 20 MW sebanyak 1111 Ton

A. Pengertian Optimasi

Secara umum optimasi berarti pencarian nilai terbaik (minimum atau maksimum) dari beberapa fungsi yang diberikan pada suatu konteks. Optimasi dapat diartikan usaha untuk meningkatkan kinerja, sehingga mampu dihasilkan kualitas yang baik dan hasil kerja yang tinggi. Pada penelitian ini, optimasi diartikan pemaksimalan nilai :

- 1) Efisiensi (η) berhubungan dengan pemakaian bahan bakar. Semakin besar nilainya maka pemakaian bahan bakar lebih sedikit dan efisien, sehingga lebih menguntungkan,
- 2) Kerja netto (W_{net}) berhubungan dengan ukuran turbin, jika nilainya lebih besar maka dimensi turbin lebih kecil
- 3) *Work ratio* berhubungan dengan stabilan operasi. Jika penurunan efisiensi dan beban kecil maka stabil. Jika mengalami penurunan yang tidak terlalu jauh/penurunannya terlalu drastis maka stabil.

Sehingga dengan hasil optimasi tersebut dapat didesain turbin uap yang optimal dan menguntungkan.

B. Pembangkit Listrik *Biomassa*

Proses kerja PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga *Biomassa*) terdapat dua macam yaitu: proses pembakaran dan proses teknologi fermentasi metana.

1) Proses pembakaran Pembangkit listrik tenaga biomassa dengan proses pembakaran menggunakan proses konversi Thermal saat pengolahan sampah menjadi energi. Proses kerja tersebut dilaksanakan dalam beberapa tahap yaitu:

a) Pemilahan dan Penyimpanan Sampah

Limbah sampah kota dikumpulkan pada suatu tempat yang dinamakan Tempat Pengolahan Akhir (TPA).

Pemilahan sampah sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan PLTB. Sampah yang sudah dipilah tersebut disimpan didalam tempat penampungan yang menggunakan teknologi RDF (*Refused Derived Fuel*). Teknologi RDF digunakan untuk memadatkan sampah atau imbah kota, sehingga nilai kalor yang dihasilkan tinggi. Penyimpanan dilakukan selama 5 hari, hingga kadar air 45 %. Lalu dilanjutkan dengan pembakaran.

b) Pembakaran_Sampah

a) Tungku PLTB pada awal pengoperasiannya akan digunakan bahan bakar minyak.

b) Ketika temperatur mencapai $850^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$, sampah dimasukkan kedalam tungku pembakaran (*insenerator*) yang berjalan 7800 jam.

c) Pemanasan_Boiler

Panas yang digunakan sebagai pemanas boiler berasal dari pembakaran sampah. Proses pemanasan pada boiler tersebut, mengubah air yang ada pada boiler berubah menjadi uap.

d) Penggerakan Turbin dan Generator Serta Hasil.

Uap didistribusikan menuju turbin hingga turbin berputar. Turbin yang berputar tersebut telah dihubungkan dengan generator. Maka ketika turbin berputar generator juga akan berputar. Putaran dari Generator tersebut, menghasilkan listrik yang akan didistribusikan.

C. Turbin Uap Pembangkit Listrik

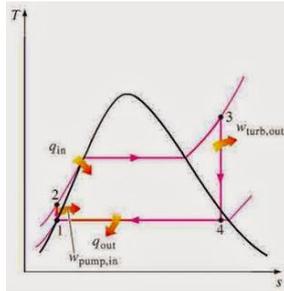
Turbin adalah sebuah alat yang berputar dan merubah energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, "*assembly rotor-blade*". Fluida yang dialirkan menuju turbin mengakibatkan sudu-sudu turbin berputar, sehingga menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor.

D. Analisa termodinamika pada sistem Turbin Uap [5]

Siklus turbin uap adalah siklus Rankine , yang terdiri dari 2 jenis siklus yaitu:

1) Siklus terbuka, dimana sisa uap dari turbin langsung dipakai untuk keperluan proses.

2) Siklus tertutup, dimana uap bekas dari turbin dapat digunakan kembali dengan cara mendinginkannya dengan menggundakan kondensor, kemudian akan dihasilkan titik-titik air yang dialirkan menuju kolam penampungan untuk dipompakan menuju boiler kembali.



Sumber: Cengel, Yunus A., Boles, Michael A (2007)
Gambar 1. Diagram Temperatur (T) - Enthalpy (s) siklus Rankine sederhana

Terdapat beberapa proses pada Siklus Rankine sederhana, yaitu:
1–2 : Proses pemompaan isentropic pada pompa
2 – 3 : Proses pemanasan pada tekanan konstan dalam ketel uap
3–4 : Proses ekspansi isentropik didalam turbin
4–1 : Proses pengeluaran kalor pada tekanan konstan

E. Meningkatkan efisiensi Thermal

Secara ideal efisiensi termal dari siklus rankine berkisar di angka 37%. Beberapa cara untuk meningkatkan efisiensi termal siklus renkine, yaitu dengan memodifikasi siklusnya.

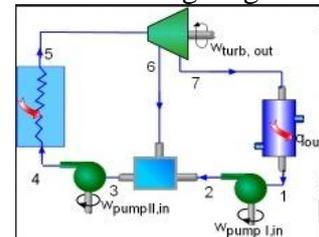
1) **Preheater** atau **Regenerative Pada Siklus Renkine**

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi siklus renkine adalah dengan menggunakan preheater atau pemanasan awal dari fluida kerja sebelum masuk kedalam boiler. Cara ini disebut dengan Regenerative Renkine Cycle.

Sumber panas yang digunakan untuk preheater dari uap yang diambil dari turbin uap pada stage tertentu (*Extraction Steam*). Steam bekas ini dialirkan melalui pipa menuju *heat exchanger* dan bertemu dengan air kondensat atau

feed water. Air kondensat yang keluar dari kondensator, dipompakan dengan menggunakan pompa ekstraksi kondensat menuju *heat exchanger*. [5]

Ada dua cara untuk proses perpindahan panas yang terjadi, juga *heat exchanger* yang biasa digunakan. Yang pertama adalah tipe *Open Feed Water Heater*, sifat untuk tipe ini terbuka dan perpindahan panasnya secara konveksi. *extraction steam* akan bercampur langsung dengan fluida kerja disebuah wadah tertentu. Kelemahan sistem ini, tidak dapat digunakan apabila antara *extraction steam* dengan fluida kerja terdapat perbedaan tekanan teralu besar, tetapi memiliki kelebihan dalam sisi ekonomis dan perpindahan panas yang maksimal, karena kedua media tersebut langsung bertemu.



Sumber: Fajar.A.F&Bachtiar.A (2014)
Gambar 2. Siklus Rankine dengan *Regenerative Open Feed Water Heater*

Referensi [5] menunjukkan bahwa Kadar uap dalam campuran ini disebut faktor kebasahan (X) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$X = \frac{h_{g(t)} - h_f}{h_{fg}} = \frac{s_{g(t)} - s_f}{s_{fg}}$$

Keterangan :

- X : faktor kebasahan (%) uap
- $h_{g(t)}$: entalphi uap pada temperatur fluida tertentu (Kj/kg)
- h_f : entalpi cair (Kj/kg)

h_{fg} : entalpi perubahan dari cair ke gas (Kj/kg)
 $s_{g(t)}$: entropi uap pada temperatur fluida tertentu (Kj/kg.K)
 s_f : entropi cair entropi cair (Kj/kg.K)
 s_{fg} : entropi perubahan dari cair ke gas (kJ/kg.K)

Beberapa proses yang terjadi pada alat, adalah:

Kerja pompa :

$$W_p = v(P_1 - P_2) = h_1 - h_4$$

v adalah volume spesifik yang besarnya:

$$v = \frac{1}{\rho}$$

Kalor masuk ke boiler :

$$Q_{in} = h_2 - h_1$$

Kerja yang dihasilkan turbin uap :

$$WT = h_2 - h_3$$

Kalor yang dibuang oleh kondensor :

Efisiensi thermal siklus Rankine ideal sederhana dapat dihitung :

$$W_{net} = W_T - W_P$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{W_T - W_P}{Q_{in}}$$

Dimana :

Untuk menghitung kinerja siklus Rankine, diperlukan tabel sifat-sifat air dan uap

2. METODE PENELITIAN

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan selama melakukan penelitian ilmiah ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan tekanan masuk, temperatur masuk, tekanan keluar turbin uap 20 MW dan tekanan kondensor
2. Menentukan jenis turbin uap impuls atau reaksi, dengan melakukan perbandingan grafik tekanan uap dan kecepatan uap antara turbin impuls dan reaksi
3. Menentukan siklus yang digunakan dengan melakukan perhitungan dan membandingkan nilai :

- a) Efisiensi (η) berhubungan dengan pemakaian bahan bakar, jika lebih besar nilainya maka pemakaian bahan bakar lebih sedikit dan efisien, sehingga lebih menguntungkan
- b) Kerja netto (W_{net}) berhubungan dengan ukuran turbin, jika nilainya lebih besar maka lebih kecil.
- c) *Work ratio* berhubungan dengan stabilan operasi. Jika penurunan efisiensi dan beban kecil maka stabil. Jika mengalami penurunan yang tidak terlalu jauh/ penurunannya terlalu drastis maka stabil.

Pada turbin uap siklus *rankine* sederhana, regeneratif (1 *feedwater heater*, 2 *feedwater heater* dan 3 *feedwater heater*)

4. Membuat grafik perbandingan turbin uap siklus rankine sederhana dan regeneratif
5. Merumuskan hasil penelitian dan pembahasan

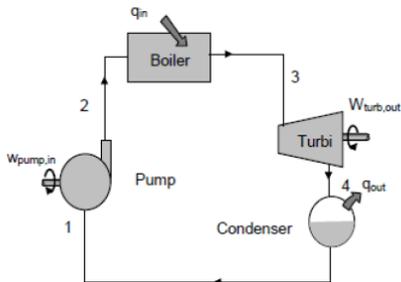
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan efisiensi, W_{net} dan *work ratio* antara turbin dengan siklus rankine sederhana dengan siklus regeneratif

Dalam perencanaan sebuah turbin uap telah diketahui parameter-parameter uap sebagai fluida kerjanya dan parameter-parameter lain yang dibutuhkan antara lain:

- a) Tekanan uap masuk turbin (Pot) : 100 bar
- b) Temperatur uap masuk turbin (Tot) : 500 °C
- c) Tekanan uap keluar turbin (Pit) : 10 bar
- d) Tekanan Kondensor : 0,08 bar

1) Perhitungan siklus rankine sederhana



Sumber: Cengel, Yunus A., Boles, Michael A (2007)

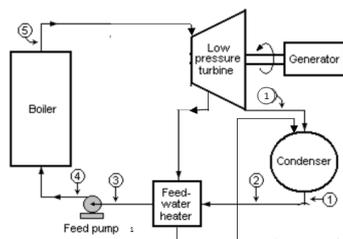
Gambar 3. Siklus Rankine Sederhana

Dari hasil perhitungan didapatkan :

$$W_{net} = 1163.56 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{th} = 37.62\%$$

2) Perhitungan siklus regeneratif dengan 1 feed water



Sumber: Wakil, E.M.M (1992)

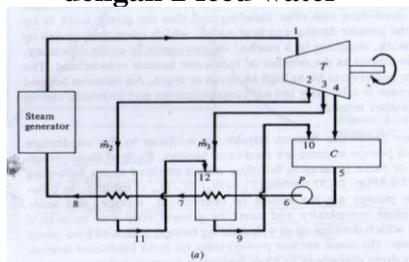
Gambar 4. Sistem Turbin Regeneratif dengan 1 Feed water heater

Dari hasil perhitungan didapatkan:

$$W_{net} = 1590.346 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{th} = 39\%$$

3) Perhitungan siklus regeneratif dengan 2 feed water



Sumber: Wakil, E.M.M (1992)

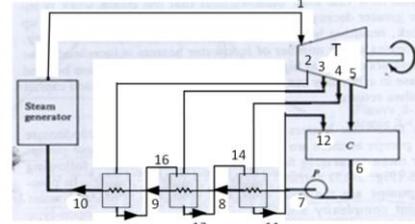
Gambar 5. Sistem Turbin Regeneratif dengan 2 Feed water heater

Dari hasil perhitungan didapatkan:

$$W_{net} = 1676.509 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{th} = 47\%$$

4) Perhitungan siklus regeneratif dengan 3 feed water



Sumber: Wakil, E.M.M (1992)

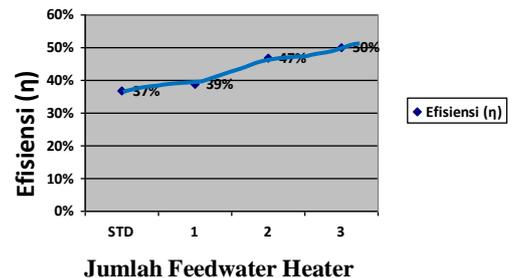
Gambar 6. Sistem Turbin Regeneratif dengan 3 Feed water heater

Dari hasil perhitungan didapatkan:

$$W_{net} = 1173.33 \text{ kJ/kg}$$

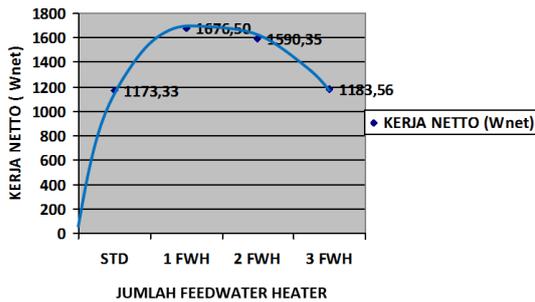
$$\eta_{th} = 50\%$$

Sehingga kurva yang dihasilkan



Gambar 7. Grafik perbedaan efisiensi pada siklus rankine sederhana dengan regeneratif

Berdasarkan grafik diatas terlihat peningkatan efisiensi dari siklus rankine sederhana yang hanya 37% dengan menggunakan siklus regeneratif naik menjadi 50% sehingga dengan sistem regeneratif sangat menguntungkan.

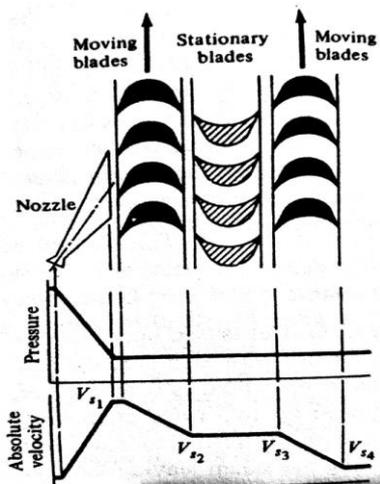


Gambar 8 Grafik perbedaan Kerja netto pada siklus rankine sederhana dengan regeneratif

Pada gambar 8 menunjukkan bahwa kerja netto pada siklus regeneratif dengan 3 feedwater lebih tinggi daripada siklus rankine sederhana sehingga dimensi turbin siklus regeneratif dengan 3 feedwater lebih kecil daripada siklus rankine sederhana

Perbandingan turbin Impuls dengan Reaksi

i. Turbin Impuls

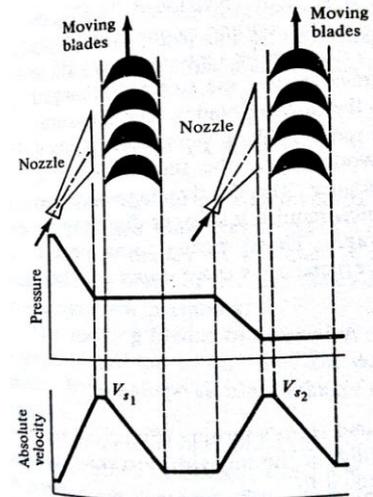


Sumber: Wakil, E.M.M (1990)

Gambar 9. Grafik tekanan dan kecepatan uap turbin Impulse

Prinsip kerja turbin impuls yaitu proses ekspansi lengkap uapnya hanya terjadi pada sudu tetap saja, dan energi kecepatan diubah menjadi kerja mekanis pada sudu-sudu turbin.

ii. Turbin Reaksi



Sumber: Wakil, E.M.M (1990)

Gambar 10. Grafik tekanan dan kecepatan uap turbin Reaksi

Berdasarkan perbandingan kedua jenis turbin diatas maka untuk mendapatkan design turbin uap yang ekonomis dipilihlah turbin uap jenis Impuls dengan 1 shaft

4. SIMPULAN

Simpulan

Berdasar hasil perhitungan dan analisa, maka dapat diambil simpulan:

1. Turbin uap yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga biomassa adalah turbin Impuls dengan 1 shaft karena sudu gerak dan sudu tetap pada turbin jenis ini memiliki fungsi yang berbeda, yaitu sudu tetap hanya berfungsi sebagai pengarah tekanan uap saja dan sudu gerak mengubah menjadi energi mekanis, sehingga gaya aksial yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan turbin reaksi yang mana sudu tetap dan geraknya berfungsi sebagai nosel sehingga gaya aksial yang dihasilkan lebih besar.
2. Berdasarkan Perhitungan dapat disimpul bahwa turbin uap yang optimal untuk pembangkit listrik

tenaga biomassa 20 MW dengan siklus yang digunakan adalah siklus regeneratif dengan 3 Feedwater Heater didapatkan $W_{net} = 1173.33$ kJ/kg, $\eta_{th} = 50\%$

Saran

Dalam menentukan jenis turbin uap dan siklus yang digunakan untuk turbin uap yang optimal harus diperhatikan efisiensi yang tertinggi, harus diperhatikan juga faktor ekonomi sehingga biaya yang diperlukan untuk pembangunan pembangkit listrik tersebut tidak terlalu besar sehingga dapat direalisasikan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wakil, E.M.M. *Instalasi Pembangkit Daya*. Jakarta : Erlangga. 1992
- [2] General Electric. *Steam Turbines for industrial applications*. Atlanta : General Electric. 2013
- [3] Fajar.A.F&Bachtiar.A.Pengaruh Feedwater Heater Terhadap Efisiensi Sistem Pembangkit 410 MW dengan Pemodelan *Gate Cycle, paper and Presentations of Mechanical Engineering RSM 621.402 5 Faj p, 2014*
- [4] Cengel, Yunus A., Boles, Michael A., *Thermodynamics an Engineering Approach in SI Units, 6th Edition*, McGraw-Hill, inc United States of America. 2007.
- [5] Shlyakin, P. *Turbin Uap Teori dan Perancangan*. Jakarta : Erlangga. 1990