

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **3.1. Penelitian Terdahulu**

Terdapat beberapa kajian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan Basuki, A.C., Nugroho, A. dan Winardi, B. (2018) dengan tugas akhir berjudul "*Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan menggunakan Metode Least Square*" konsumsi spesifik bahan bakar semakin menurun seiring dengan penambahan beban / daya yang dibangkitkan. Dari perhitungan didapatkan, konsumsi bahan bakar bruto dan netto saat beban 80 MW adalah 0,28196667 liter/ kWh dan 0,30307647 liter/ kWh. Sebaliknya, saat beban 140 MW adalah 0,25578946 liter/ kWh dan 0,27050424 liter/ kWh. Semakin besar daya yang dibangkitkan maka efisiensi termal semakin besar. Sebaliknya, tara kalor (*heatrate*) semakin menurun. Dari perhitungan didapatkan efisiensi termal bruto dan netto terbesar adalah 36,01% dan 34,06% saat beban 140 MW. Sedangkan, efisiensi termal bruto dan netto terkecil adalah 32,67% dan 30,398% saat beban 80 MW[1].

A. D. Putra (2016) dengan tugas akhir berjudul "*Studi Potensi Limbah Biomassa Kelapa Sawit Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT. Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu*" digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dapat membangkitkan daya listrik pada TKKS sebesar 5,9 MW, fiber 4,2 MW, dan cangkang 1,8 MW dengan total pembangkit sebesar 12 MW. Untuk setiap ton bahan bakar akan menghasilkan daya pada 1,08 MW/ton TKKS, 1,10 MW/ton fiber dan 1,16 MW/ton cangkang. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar limbah biomassa kelapa sawit ini memiliki Faktor kapasitas pembangkit sebesar 83,6%. [2].

Gunawan Wibisono (2018) dengan tugas akhir berjudul "*Analisis Potensi Fiber dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Sumber Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT. Pundi Lahan Khatulistiwa*" energi yang dapat dibangkitkan oleh limbah biomassa kelapa sawit berupa fiber dan cangkang sawit cukup besar yaitu, 5,14 Mwh ditahun 2016, 6,21 Mwh ditahun 2017, dan 6,51 Mwh ditahun

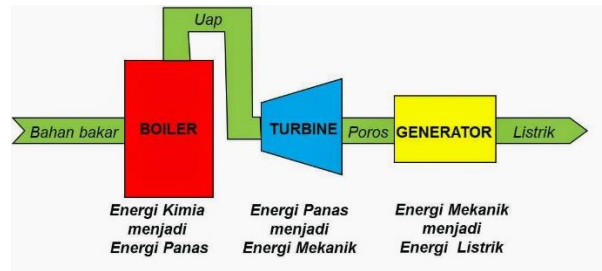
2018. Total energi yang dihasilkan oleh fiber dan cangkang sawit pada tiga tahun terakhir terhitung dari 2016 – 2018 sebesar 17,86 Mwh[3].

A.Singko (2021) dengan tugas akhir berjudul “*Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (Studi Kasus PLTU Harjohn Timber Kubu Raya)*” analisis didapat nilai efisiensi nominal turbin uap sebesar 94,5%. Nilai kerja turbin uap yang paling tinggi berdasarkan nilai rata – rata operasi, yaitu pada bulan ke-3 penelitian dengan nilai sebesar 5.535,81 kW dari nilai spesifikasi 7.088 kW. Sedangkan nilai operasi rata-rata efisiensi generator yang paling tinggi mencapai 94,17%, terjadi pada bulan ke-2 penelitian dan efisiensi terendah saat pada bulan ke-3 penelitian dengan nilai sebesar 82,73 %. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) batu bara didapat nilai tertinggi pada bulan ke-5 menghasilkan nilai bruto 0,6798 kg/kWh dan nilai netto 0,8181 kg/kWh. Sedangkan nilai terendah pada bulan ke -6 yaitu dengan nilai bruto 0,4824 kg/ kWh dan nilai netto 0,6041 kg/kWh. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) kayu didapat nilai tertinggi pada bulan ke-5 menghasilkan nilai bruto 0,4911 kg/kWh dan nilai netto 0,5910 kg/kWh. Sedangkan nilai terendah pada bulan ke -6 yaitu dengan nilai bruto 0,3440 kg/kWh dan nilai netto 0,4308 kg/ kWh. Semakin tinggi nilai total yang dihasilkan maka nilai Specific Fuel Consumption (SFC) akan semakin rendah. Sebaliknya semakin rendah total energi yang dihasilkan maka nilai Specific Fuel Consumption (SFC) akan semakin tinggi[4].

Dalam penelitian ini terdapat perbedaan dengan penelitian terdahulu yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan bahan bakar batu bara dan cangkang sawit dengan dicampurkan menjadi satu pembakaran didalam boiler.

### **3.2. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)**

PLTU adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik, dimana suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang mengkonversikan energi kimia listrik dengan menggunakan uap air sebagai *fluida* kerjanya. Uap air yang digunakan sebagai *fluida* ini didapat dari hasil pembakaran pada boiler akibat reaksi kimia dari bahan bakar PLTU yang memanaskan air dari boiler.



**Gambar 2.1** Proses Konversi Energi PLTU

PLTU ini bekerja berdasarkan pada prinsip atau *siklus rankine*. Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam PLTU adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari katel uap PLTU. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada didalam pipa katel untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan dalam drum dari katel. Uap dari drum katel dialiri ke turbin uap. Dalam turbin uap energi (*enthalpy*) uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator akhirnya energi pada turbin uap ini dapat dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator.

### 3.3. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Adapun komponen-komponen utama dari PLTU sebagai berikut :

#### 3.3.1. Boiler

Boiler merupakan bagian dari sistem PLTU yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanfaatkan panas dari pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar. Uap yang di hasilkan boiler adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran dan panas pembakaran yang diberikan. Boiler yang digunakan pada PLTU adalah boiler yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air yang disebut dengan *water tube boiler*.

#### 3.3.2. Turbin Uap

Turbin uap berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang dikandung oleh uap menjadi energi putar (energi mekanik). Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga ketika turbin berputar generator juga ikut berputar. Uap yang

telah melakukan kerja diturbin tekanan dan temperatur turun hingga kondisinya menjadi uap basah. Uap keluar turbin ini kemudian dialirkan ke dalam kondensor untuk didinginkan agar menjadi air kondensat, sedangkan tenaga putar yang dihasilkan digunakan untuk memutar generator.

### **3.3.3. Kondensor**

Kondensor merupakan bagian pada sistem PLTU yang berfungsi untuk mengubah fase uap menjadi fase cair dimana uap yang telah digunakan untuk memutar turbin diubah kembali menjadi air dengan sistem kondensasi. Hasil dari kondensasi ditampung dengan *hotwell* yang kemudian akan dipompakan kembali ke boiler. Kondensor ini terdiri dari *tube-tube* kecil yang digunakan untuk mengalirkan air pendingin. Sedangkan uap yang akan dikondensasikan, mengalir dari atas menuju kebawah agar mengalami pengembunan. Sebelum masuk ke dalam kondensor, air pendingin yang berasal dari sungai, dilakukan penyaringan terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran-kotoran atau lumpur. Disamping itu, agar uap dapat bergerak turun dengan lancar setelah melewati suhu terakhir turbin, maka vakum kondensor harus dijaga untuk membuat tekanan udara pada kondensor menjadi rendah. Dengan tekanan yang lebih rendah maka uap akan bergerak dengan mudah menuju kondensor.

### **3.3.4. Pompa**

Pompa adalah bagian dari sistem yang digunakan untuk mengalirkan fluida dari tekanan rendah ke tekanan yang tinggi. Pompa pada pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari beragam jenis dan fungsi, salah satunya adalah boiler *feed pump*. Boiler *feed pump* menjadi bagian yang tidak terpisahkan dimana pompa ini memiliki fungsi untuk mensuplai air dalam proses pembakaran didalam boiler. Air yang dimaksud merupakan penyubliman uap keluaran dari kondensor dimana fluida dalam kondisi uap membutuhkan energi yang lebih besar untuk dialirkan dibandingkan dalam kondisi cair. Selain itu, daya pompa yang digunakan oleh boiler *feed pump* berbanding lurus dengan peningkatan jumlah uap pada pembangkit.

### 3.3.5. Generator

Generator merupakan produksi untuk menghasilkan energi listrik target dari proses konversi energi di PLTU. Generator yang dikopel langsung dengan turbin akan menghasilkan tegangan listrik ketika turbin berputar. Proses konversi energi didalam generator adalah dengan memutar medan magnet didalam kumparan. Rotor generator sebagai medan magnet menginduksi kumparan yang dipasang pada stator sehingga timbul tegangan diantara kedua ujung kumparan generator. Untuk membuat rotor agar menjadi medan magnet, maka dialirkan arus DC ke kumparan rotor.

### 3.4. Siklus Rankine

*Siklus rankine* adalah sebuah siklus yang mengkonversikan energi panas menjadi kerja / energi gerak. Sistem kerja pada *siklus rankine* panas disuplay 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%. Aplikasi dari *siklus rankine* dapat dimanfaatkan sebagai kebutuhan seperti pembangkit listrik, proses *energy thermal* dan kombinasi dari keduanya. *Siklus rankine* merupakan modifikasi dari *siklus carnot*, dimana proses pemanasan dan pendinginan pada siklus ini terjadi pada tekanan yang tetap. Perbedaannya adalah pada *siklus rankine* menggunakan *fluida* bertekanan, sedangkan mesin *carnot* menggunakan gas.

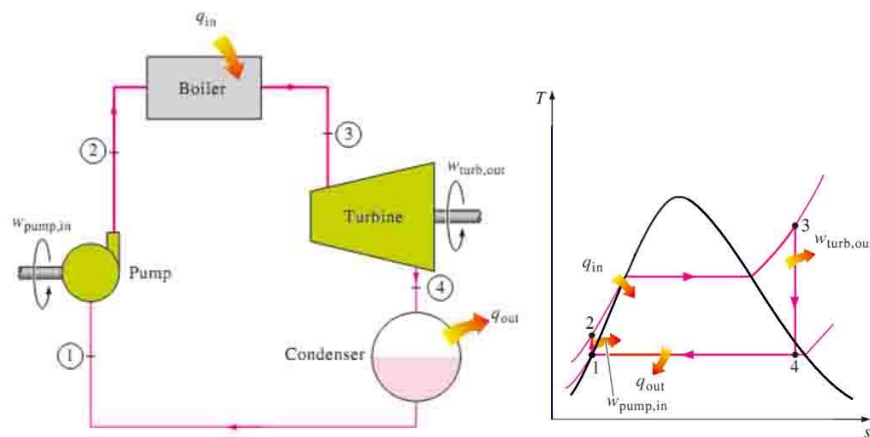
### 3.5. Cara Kerja Siklus Rankine

*Siklus rankine* terdiri dari 4 komponen dasar yaitu boiler, turbin, kondenser 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 mengkonversikan uap kerja menjadi energi gerak. Lalu kondenser berfungsi sebagai tempat mengkonversikan uap yang telah

digunakan menggerakkan turbin menjadi air kembali. Dan yang terakhir adalah pompa yang berfungsi memindahkan air dari kondenser ke dalam boiler untuk dipanaskan ulang oleh boiler menjadi uap.

Pada *siklus rankine* sederhana air dipompa oleh pompa pengisi boiler ke dalam boiler. Pompa yang bertugas untuk memompakan air ke dalam boiler disebut *feed water pump*. Pompa ini harus dapat menekan air ke boiler dengan tekanan yang cukup tinggi (sesuai dengan tekanan kerja siklus). Secara ideal pompa bekerja menurut proses isentropis (*adiabatis reversibel*) dan secara aktual pompa bekerja menurut proses *adiabatis irreversibel*. Didalam boiler, air yang bertekanan tinggi dipanaskan hingga menjadi uap panas lanjut. Uap panas lanjut dari boiler kemudian dialirkan ke turbin melalui pipa – pipa uap. Didalam turbin uap, uap panas lanjut diekspansikan dan digunakan untuk memutar rotor turbin uap.

Uap tekanan rendah dari turbin uap mengalir ke kondenser. Didalam kondenser, uap didinginkan dengan media pendingin air hingga berubah fase menjadi air. Kemudian air ditampung didalam tangki dan dipisahkan dari gas – gas yang tersisa dan siap untuk dipompa ke dalam boiler oleh pompa pengisi boiler. Rangkaian siklus rankine dan diagram T-s dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut ini:



**Gambar 2.2** Skematik dan Diagram T – S Siklus Rankine

1. 1-2 : Air dipompakan oleh pompa sehingga mengalami kenaikan temperature dan tekanan. Proses ini terjadi dipompa air pengisi yang disebut kompresi isentropis.
2. 2-3 : Air yang dipompakan ini selanjutnya dipanaskan sampai mencapai titik didihnya. Proses ini terjadi LP *heater*, HP *heater* dan *Economizer*.

3. 2-3 : Pada tahap ini terjadi proses penguapan secara isobar isotermis karena air yang berubah wujud menjadi uap jenuh. Proses ini terjadi di *boiler* yaitu pada *wall tube*.
4. 3-4 : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*). Langkah ini terjadi di *superheater boiler* dengan proses isobar.
5. 4-5 : Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah ekspansi isentropis dan terjadi didalam turbin.
6. 5-1 : Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah isobar isotermis dan terjadi didalam kondensor.

Proses ini adalah proses sederhana yang berlangsung pada saat memanaskan air. Proses ini hampir sama dengan proses yang terjadi didalam *boiler* pada unit pembangkit uap di PLTU.

### 3.6. Bahan Bakar

Bahan bakar adalah bahan yang dapat dibakar untuk menghasilkan panas (kalor). Proses pembakaran merupakan proses kimia antara bahan bakar, udara, dan panas. Proses pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar ketel (*boiler*) bertujuan untuk merubah fasa air menjadi fasa uap. Berbagai jenis bahan bakar (seperti bahan bakar cair, padat, dan gas) yang tersedia tergantung pada berbagai faktor seperti biaya, ketersediaan, penyimpanan, handling, polusi dan peletakan *boiler*, tungku dan peralatan pembakaran lainnya. Pengetahuan mengenai sifat bahan bakar membantu dalam memilih bahan bakar yang benar untuk keperluan yang benar dan untuk penggunaan bahan bakar yang efisien. Uji laboratorium biasanya digunakan untuk mengkaji sifat dan kualitas bahan bakar. Untuk melakukan pembakaran diperlukan tiga unsur, yaitu bahan bakar, oksigen, dan suhu untuk memulai pembakaran.

Bahan bakar *boiler* yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah batu bara dan cangkang sawit.

#### 1. Batubara

Batubara secara umum adalah dimana semakin tinggi kualitas batubara maka kadar karbon akan meningkat, sedangkan hidrogen dan oksigen

akan berkurang. Batubara merupakan substansi heterogen yang dapat terbakar dan terbentuk dari banyak komponen yang mempunyai sifat saling berbeda. Batubara dapat didefinisikan sebagai satuan sedimen yang terbentuk dari dekomposisi tumpukan tanaman selama kira-kira 300 juta tahun. Dekomposisi tanaman ini terjadi karena proses biologi dengan mikroba dimana banyak oksigen dalam selulosa diubah menjadi karbondioksida ( $CO_2$ ) dan air ( $H_2O$ ). Kemudian perubahan yang terjadi dalam kandungan bahan tersebut disebabkan oleh adanya tekanan, pemanasan yang kemudian membentuk lapisan tebal sebagai akibat pengaruh panas bumi dalam jangka waktu berjuta-juta tahun, sehingga lapisan tersebut akhirnya memadat dan mengeras.

## 2. Cangkang sawit

Cangkang sawit atau cangkang kelapa sawit (*Palm Kernel Shell*) sering juga disebut tempurung sawit adalah bagian keras yang terdapat pada buah kelapa sawit yang berfungsi melindungi isi atau kernel dari buah sawit tersebut. Dalam proses pembuatan cangkang sawit, terdapat pecahan besar dan kecil bercampur dengan debu dan serat kecil. Kadar air dalam cangkang sawit tergolong rendah (11% - 13%) dibandingkan residu biomassa lain dengan sumber yang berbeda. Cangkang sawit mengandung residu dari bagian minyak kelapa sawit yang cocok untuk penghangat ruangan dengan nilai yang sedikit lebih tinggi dari kebanyakan *lignocellulosic* biomassa.

### 3.7. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Berdasarkan SPLN No. 80 tahun 1989, persamaan yang digunakan untuk menghitung konsumsi bahan bakar spesifik adalah sebagai berikut :

Persamaan pemakaian bahan bakar spesifik (*SFC*)

$$SFC = \frac{qf}{kWh} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

*SFC* = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)

*qf* = jumlah bahan bakar yang dipakai (kg)

*KWh* = Data yang dihasilkan oleh generator (kWh)