

# STUDI POTENSI LIMBAH BIOMASSA KELAPA SAWIT SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DI PT. PERKEBUNAN NUSANTARA XIII PKS PARINDU

Agus Dwi Putra<sup>1)</sup>, Ismail Yusuf<sup>2)</sup>, Usman A. Gani<sup>3)</sup>,

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak  
Email : [panglima.phoenix@gmail.com](mailto:panglima.phoenix@gmail.com)

## Abstrak

Sebagai negara agraris, ketersediaan biomassa sangat melimpah di Indonesia. Salah satu ketersediaan biomassa tersebut terdapat pada perkebunan kelapa sawit. Dimulai dari tahun 1968 yang mana perkebunan kelapa sawit memiliki luas 119.600 ha dengan hasil produksi 181,444 ton. Perkebunan sawit terus berkembang. Pada tahun 2015 diketahui total luasan perkebunan sawit mencapai 11.312.640 ha dengan produksi 30.948.931 ton. Terdapat kaitan yang sangat erat antara hasil produksi dan limbah produksi. Dimana setiap hasil produksi akan menghasilkan limbah produksi yang jika tidak dikelola dengan baik dapat membahayakan lingkungan. Oleh karena itu, pengolahan dan pemanfaatan limbah produksi kelapa sawit sangat dibutuhkan.

Melihat keterbatasan energi listrik di Kalimantan Barat yang terjadi akibat terbatasnya pembangkit dan semakin menipisnya ketersediaan bahan bakar fosil, menjadikan limbah kelapa sawit memiliki prioritas utama untuk dimanfaatkan menjadi sumber energi. PT Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu merupakan perusahaan kelapa sawit milik negara yang bergerak dalam bidang agroindustri dengan memiliki kapasitas pengolahan 60 ton/jam. Limbah dari pengolahan kelapa sawit ini dapat dimanfaatkan untuk di jadikan bahan bakar pembangkit energi listrik yang dapat menambah ketersediaan energi listrik di daerah Kalimantan Barat. Pada tahun 2016 dengan pasokan buah dengan massa 175.219 ton dan dengan lama waktu produksi 308 hari dapat menghasilkan limbah biomassa TKKS sebanyak 5,45 ton, cangkang 1,54 ton dan fiber 3,79 ton.

Potensi limbah biomassa kelapa sawit pada PT. Perkebunan Nusantara PKS Parindu ini jika 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 pembangkitan 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 pembangkitan sebesar 83,6%.

Kata kunci : limbah biomassa, PT. Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu.

## 1. Latar belakang

Pembudidayaan kelapa sawit di Indonesia telah berlangsung selama lebih dari sepuluh dasawarsa. Kondisi tanah yang sangat cocok di beberapa wilayah Indonesia telah menjadikan sawit sebagai komoditi unggulan secara nasional. Oleh karena itu tidak mengherankan jika luas daerah perkebunan kelapa sawit terus bertambah setiap tahunnya. Di mulai dari tahun 1968 yang mana perkebunan kelapa sawit di Indonesia berkisar sebesar 119.660 ha dengan hasil produksi sebesar 181.444 ton, hingga pada tahun 2015 Indonesia memiliki luas lahan perkebunan sebesar 11.312.640 ha, dengan hasil produksi sebesar 30.948.931 ton. Hal ini menjadikan Indonesia menjadi salah satu produsen minyak kelapa sawit (CPO) terbesar di dunia. Kalimantan barat sebagai daerah penghasil kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2015 memiliki total lahan kelapa sawit sebesar 1.003.570 ha, yang mana terdiri dari 342.693 ha milik masyarakat, 60.400 ha milik negara dan 600.477 ha milik perusahaan swasta. (Direktorat Jenderal Perkebunan kelapa sawit 2013-2015)

Melihat keterbatasan energi listrik di Kalimantan Barat yang terjadi akibat keterbatasan pembangkit

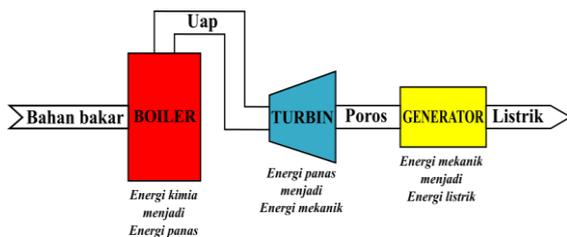
serta semakin krisisnya persediaan bahan bakar fosil menjadikan limbah kelapa sawit ini memiliki prioritas utama untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi. Energi yang dapat dihasilkan dari limbah biomassa pabrik kelapa sawit ini juga cukup tinggi.

Pembangkitan listrik dengan menggunakan sisa limbah biomassa dari pabrik kelapa sawit ini akan menjadi salah satu solusi kekurangan energi yang terjadi. Selain itu pemanfaatan limbah biomassa kelapa sawit ini juga akan mengembangkan sumber energi *alternative* yang bersifat *renewable energy*. Sistem pembangkitan energi listrik dengan menggunakan limbah biomassa kelapa sawit ini mirip dengan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), yaitu dengan memanaskan air pada *boiler* menggunakan panas pembakaran limbah biomassa kelapa sawit kemudian uap dari air yang dipanaskan tadi digunakan untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator. Generator kemudian akan berputar dan menyebabkan perubahan *fluks* medan magnet, perubahan *fulks* tersebut akan menyebabkan beda potensial.

## 2. Potensi Biomassa Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

### 2.1 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 di dapat dari hasil pembakaran pada boiler akibat reaksi kimia dari bahan bakar PLTU yang memanaskan air dari boiler.



**Gambar 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 di dalam 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.

### 2.2 Siklus Rankine

*Siklus Rankine* adalah sebuah siklus yang mengkonversi energi panas menjadi kerja / energi gerak. Sistem kerja pada siklus rankine panas disupply 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*, di mana proses pemanasan dan pendinginan pada siklus ini terjadi pada tekanan yang tetap. Perbedaannya adalah pada

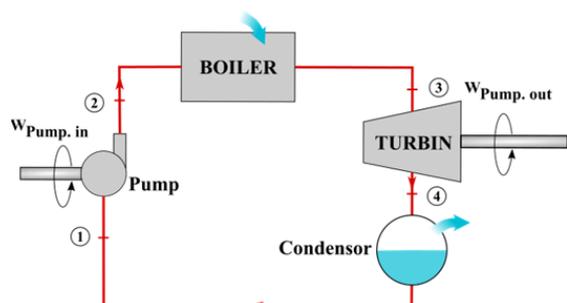
*siklus rankine* menggunakan ibertekanan, sedangkan mesin *carnot* menggunakan gas.

### 2.3 Cara Kerja Siklus Rankine

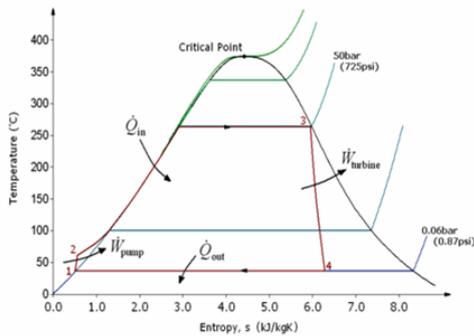
*Siklus rankine* terdiri dari dari 4 kmpinen dasar yaitu *boiler*, turbin, *konernser* dan *pump* (pompa). Setiap komponen ini mempunyai fungsi yang sangat penting dalam melakukan kerja dalam *siklus rankine*. *Boiler* berfungsi sebagai tempat penampungan air yang juga akan dikonversikan menjadi uap 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.

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 (seuai dengan tekanan kerja siklus). Secara ideal pompa bekerja menurut proses *isentropis (adiabatis reversibel)* dan secara aktual pompa bekerja menurut proses *adiabatis irreversibel*. di dalam *boiler*, air yang bertekanan tinggi dipanaskan hingga menjadi uap panas lanjut. Uap panas lanjut dari boiler kemudian dialirkan ke turbin melalui pipa-pipa uap. Di dalam turbin uap, uap panas lanjut diekspansikan dan digunakan untuk memutar rotor turbin uap.

Uap tekanan rendah dari turbin uap mengalir ke kondensor. Di dalam kondensor, uap didnginkan dengan media pendingin air hingga berubah fase menjadi air. Kemudian air ditampung di dalam 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 gambar 2.3 berikut ini:



**Gambar 2**  
Siklus Rankine Ideal



**Gambar 3**  
Grafik T-s Siklus Rankine

Dari gambar 2.2 dan gambar 2.3 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 ( $W_{pompa}$ ).

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

- $W_{pompa}$  = 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)

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

konservasi energi, Dengan mendasarkan pada hukum pertama Termodinamika.

$$dQ - dU = dW \quad (5)$$

Serta juga akan dihasilkan persamaan energi untuk kondisi steady flow dapat ditulis:

$$\begin{aligned} \Delta E &= m(h+Ep+Ek)_i - m(h+Ek+Ep)_e + Q - W \quad (6) \\ 0 &= h_1 - h_2 + Q - W \\ Q - W &= h_1 - h_2 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan diatas maka didapatkan kerja aktual dari siklus rankine ideal ( $W_{net}$ ) yaitu :

$$\begin{aligned} W_{net} &= W_{turbin} - W_{pompa} \quad (7) \\ &= Q_{in} - Q_{out} \end{aligned}$$

Dalam simbol efisiensi panas maka Efisiensi termal siklus Rankine dapat di tulis :

$$\begin{aligned} \eta_{RANK} &= \frac{W_{turbin} - W_{pompa}}{Q_{in}} \\ &= \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)} \quad (8) \end{aligned}$$

Pada tekana 1 atm, air memiliki temperatur awal 18°C bila terus dipanaskan maka temperatur akan naik hingga mencapai titik didih yaitu 99,98 °C dengan tekanan 1atm. Bila panas terus diberikan, temperatur air tidak akan naik tapi terjadi perubahan fase air dari cair menjadi gas. Pada proses ini terjadi penyerapan kalor (energi) yang digunakan untuk mengubah fase zat, pada temperatur konstan. Energi yang diserap tidak dapat di ukur dengan termometer karena temperatur fluida tidak berubah. Oleh karena itu proses ini disebut proses penyerapan panas laten (non sensibel heat). Proses ini terus berlanjut hingga semua molokul air berubah menjadi fase gas (fase uap jenuh). Fase campuran gas dan cair ini di sebut faktor kebasahan, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$X = \frac{(s_g - s_f)}{s_{fg}} = \frac{(h_g - h_f)}{h_{fg}} \quad (9)$$

Keterangan:

- $X$  = fraksi uap (%)
- $s_g$  = entropy uap (kJ/kg.K)
- $s_f$  = entropy air (kJ/kg.K)
- $s_{fg}$  = kenaikan nilai entropy (kJ/kg.K)
- $h_g$  = entalpy uap (kJ/kg)
- $h_f$  = entalpy air (kJ/kg)
- $h_{fg}$  = kenaikan nilai entalpy (kJ/kg)

*Boiler* dalam siklus rankine merupakan kontrol untuk membentuk alat pemanas aliran tunak (*steady*) yang dicatu dengan reaktan (bahan bakar dan udara) dan membuang hasil pembakaran (gas buang) sambil memberikan panas ke fluida-kerja yang memutar siklus. Dalam alat pemanas, produk hasil pembakaran selalu meninggalkan pada temperatur kurang dari temperatur reaktan yang datang, karena tidak ekonomis menyediakan permukaan pipa dalam *boiler* atau pemindah-panas untuk menjadi dingin sempurna. Sehingga  $Q_{in}$  selalu kurang dari nilai *kalorifik* dan penampilannya dinyatakan dalam efisiensi *boiler*, yang didefinisikan sebagai rasio jumlah panas yang diberikan oleh alat untuk tiap massa bahan bakar yang dibakar. Untuk menentukan efisiensi *boiler* digunakan perhitungan berikut

$$\eta_{boiler} = \frac{Q_{in}(h_3 - h_2)}{E_{bb}} \quad (11)$$

Keterangan:

- $\eta_{boiler}$  = efisiensi boiler (%)
- $Q_{in}$  = energi panas (kalor) dalam boiler (kg/jam)
- $E_{bb}$  = energi bahan bakar (kj/jam)

Karena pengaruh geseran dalam nozzle dan lorong daun turbin, *entalpi* keluar lebih besar dibandingkan seharusnya dalam keadaan ideal dan usaha keluaran turbin akan berkurang. Besaran dapat ditentukan dengan mendefinisikan efisiensi *isentropis* turbin, sebagai perbandingan penurunan *entalpi* sebenarnya dalam turbin ke penurunan *entalpi isentropis* apabila mengembang dari kondisi awal yang sama ke tekanan buang yang sama.

$$\eta_s = \frac{(h_3 - h_4)}{(h_3 - h_{4s})} \times 100 \quad (11)$$

Dimana:

- $\eta_s$  = efisiensi *isentropis* pada turbin (%)
- $h_3$  = entalpy uap keluar boiler (kj/kg)
- $h_4$  = entalpy uap keluar turbin (kj/kg)
- $h_{4s}$  = entalpy uap keluar turbin dalam kondisi *isentropis* (kj/kg)

Dari persamaan efisiensi isentropis turbin maka akan didapatkan persamaan untuk mengetahui daya yang dihasilkan dari turbin uap.

$$W_{turbin} = Q(h_3 - h_4) \quad (12)$$

Menjadi:

$$W_{turbin} = Q \eta_s (h_3 - h_{4s}) \quad (13)$$

Daya yang dapat dibangkitkan generator berdasarkan efisiensi generator menjadi:

$$P = W_{turbin} \times \eta_{generator} \quad (14)$$

Dimana:

- $P$  = daya yang dihasilkan (KW)
- $\eta_{generator}$  = efisiensi generator (%)

## 2.4 Nilai Kalor

Nilai kalor (HV) adalah jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna dalam suatu proses aliran tunak (*steady*) dan produk dikembalikan lagi ke dalam bentuk reaktan. Besaran nilai kalor dari suatu bahan bakar sama dengan harga mutlak dari *entalpi* pembakaran bahan bakar. Nilai energi merupakan karakteristik untuk setiap zat. Hal ini diukur dalam satuan energi per unit substansi, biasanya massa, seperti: kJ/kg, kJ/mol, kkal/kg, Btu/lb. *Heating value* umumnya ditentukan dengan menggunakan kalorimeter bom. Terdapat dua jenis nilai kalor yaitu:

1. *Higher heating value* (HHV) yaitu nilai kalor atas. Nilai kalor atas ditentukan pada saat HO pada produk pembakaran berbentuk cairan.
2. *Lower heating value* (LHV), yaitu nilai kalor bawah. Nilai kalor bawah ditentukan saat H<sub>2</sub>O pada produk pembakaran berbentuk gas.

Jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran dinyatakan sebagai *entalpi* pembakaran yang merupakan beda *entalpi* antara produk dan reaktan dari proses pembakaran sempurna. *Entalpi* pembakaran ini lah yang dinyatakan sebagai *Higher Heating Value* (HHV) atau *Lower Heating Value* (LHV).

Limbah kelapa sawit memiliki nilai kalor yang cukup tinggi untuk dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik. Nilai kalor yang dihasilkan dari limbah kelapa sawit tersebut dapat kita lihat pada tabel berikut:

**Tabel 1**  
Kandungan Kalori Limbah Biomassa Kelapa Sawit

Produk Limbah Sawit	Rata-Rata Nilai Kalor (kj/Kg)	Kisaran (kj/Kg)
TKKS	18.795	18.000-19.920
Serat	19.055	18.800-19.580
Cangkang	20.093	19.500-20.750

Sumber: Ma et.al. (2004) in Goenadi et al., (2008)

## 2.4 Faktor Kapasitas Pembangkitan PLTU

Analisis ke empat adalah menghitung faktor kapasitas pembangkitan energi listrik. Analisis ini membandingkan antara daya yang digunakan oleh PKS dengan daya yang dihasilkan dari konversi limbah kelapa sawit menjadi energi listrik, dengan menggunakan formula:

$$FK_{\text{pembangkitan}} = \frac{\text{daya pembangkitan}}{\text{penggunaan daya PKS}} \times 100\%$$

### 2.5 Konversi Limbah Biomassa Kelapa Sawit

Proses konversi energi dari limbah kelapa sawit tergantung pada nilai kalor yang dimiliki limbah kelapa sawit itu sendiri. Nilai kalor tersebut akan menentukan panas pembakaran untuk menghasilkan uap yang diperlukan dalam pembangkitan listrik. Jumlah limbah juga berpengaruh besar terhadap nilai kalor yang dihasilkan dari limbah kelapa sawit tersebut.

Cangkang dan fibre dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada PLTU 6 MW, yang digunakan untuk memanaskan air didalam boiler sehingga menghasilkan temperatur uap dan tekanan uap yang mampu memutar turbin uap. Turbin uap berfungsi sebagai prime mover untuk memutar generator sehingga menghasilkan output berupa daya listrik. Pada saat menggunakan bahan bakar cangkang PLTU 6 MW menghasilkan output rata – rata sebesar 4.8 MW/hr dan dalam 1 MW output membutuhkan 1.02 ton cangkang dan pada saat menggunakan bahan bakar fibre PLTU 6 MW menghasilkan output rata – rata 2.3 MW/hr dan dalam 1 MW output membutuhkan 1.83 ton fibre. Karena lebih optimal dalam pengoperasian serta maksimalnya output yang dihasilkan dari bahan bakar cangkang, maka efisiensinya pun lebih baik. Efisiensi PLTU 6 MW pada saat menggunakan bahan bakar cangkang sebesar 20.5 % dan efisiensi PLTU 6 MW dari bahan bakar fibre 13 %. Oleh karena itu bahan bakar cangkang merupakan bahan bakar utama yang digunakan pada PLTU 6 MW. (Harris, 2013)

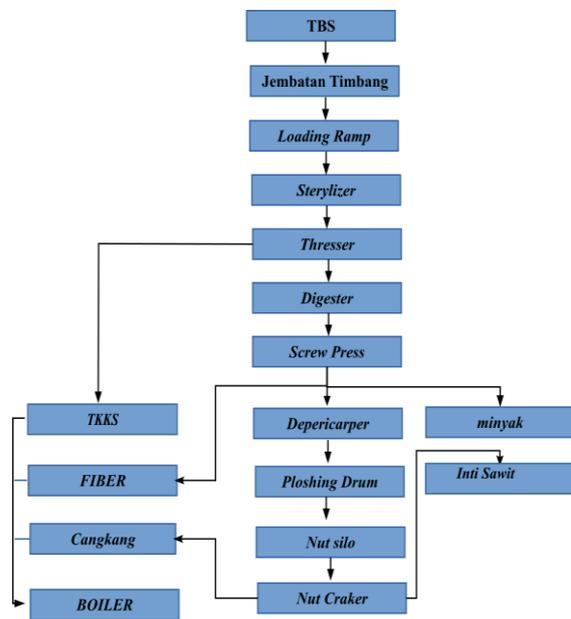
TBK pun bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Energi yang dihasilkan dapat dikonversikan menjadi listrik dengan jumlah yang cukup signifikan. Sebagai ilustrasi, sebuah PKS dengan kapasitas 100 ribu ton TBS per tahun menghasilkan sekitar 23 ribu ton TBK yang mampu membangkitkan energi ekuivalen dengan 30 GW(e)h pada tingkat efisiensi konversi 25%. Berbeda dengan limbah serabut dan cangkang, karena kadar airnya yang tinggi (antara 65% -70%), TBK terlebih dahulu memerlukan proses pengeringan dalam bangsal penyimpanan, tanpa penyinaran matahari langsung. Proses ini memerlukan ruangan yang cukup besar jika TBK hendak dimanfaatkan dalam jumlah banyak untuk pembangkitan listrik, TBK segar dapat dilewatkan lebih dahulu dalam perajang (muncher) untuk kemudian diperas dalam kempa. Sebagai imbalan akan dapat diperoleh kembali minyak dan inti sawit yang tadinya akan hilang sebagai buah yang tertinggal dalam TBK. ( Budiarto, Rachmawan., dan Agung, Alexander)

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan melakukan pengumpulan data-data dari lapangan, percobaan di laboratorium dan analisis data untuk mendapatkan kesimpulan. Untuk melaksanakan penelitian ini, dilakukan pengumpulan data lapangan dalam bentuk survey dan interview. Data lapangan berupa data produksi dari PT. Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu, yang terdiri dari data Tandan Buah Segar (TBS) terolah, asal TBS, lama waktu pengolahan penggunaan energi listrik untuk pengolahan. Data produksi tersebut diambil untuk setahun terakhir (2016).

#### 3.1 Proses Mendapatkan Limbah Biomassa

PKS pada umumnya mengolah bahan baku berupa Tandan Buah Segar (TBS) menjadi minyak kelapa sawit CPO (Crude Palm Oil) dan inti sawit (Kernel). Selain menghasilkan minyak CPO dan inti kernal, PKS juga menghasilkan limbah dari sisa pengolahan baik limbah cair padat atau pun gas. Diagram pengolahan PKS untuk menghasilkan limbah biomassa:



Gambar 4

Diagram Alir Pengolahan Kelapa Sawit

#### 3.2 Pengukuran Kandungan Nilai Kalor Pada Limbah Biomass Kelapa Sawit

TKKS, fiber dan cangkang yang telah didapatkan dari PT. Perkebunan Nusantara PKS Parindu kemudian di uji nilai kalornya dengan kalorimeter bom. Pengujian ini dilakukan agar mengetahui besar energi panas dari tiap bahan untuk memanaskan air pada boiler.

### 3.3 Perhitungan Pembangkitan Energi

Dari data data yang telah di dapat dari PT. Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu dan hasil pengujian laboratorium kemudian dilakukan pengolahan data untuk mengetahui besar energi yang dapat dibangkitkan PT. Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu. Pengolahan dilakukan dengan menggunakan persamaan persamaan dalam siklus rankine sebagai siklus dasar PLTU. Komponen komponen seperti boiler turbin, kondenser dan pompa pada PLTU dan juga efisiensi dari komponen diasumsikan dengan PLTU yang ada di pasaran untuk memudahkan perhitungan.

### 3.4 Perhitungan Kapasitas Pembangkitan

Hasil dari pembangkitan energi listrik ini kemudian diakumulasikan dengan energi yang digunakan oleh PT. Perkebunan Nusantara XIII PKS parindu. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui seberapa besar kapasitas pembangkitan yang mampu dibangkitkan dari PLTU berbahan bakar limbah biomassa kelapa sawit PKS parindu.

## 4. Analisa Pembahasan

Berdasarkan data primer yang berasal dari PT Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu didapatkan jumlah tandan segar kelapa sawit selama tahun 2016 sebanyak 175.219ton dalam waktu 308 hari dan dalam satu hari dianggap selama 24 jam, maka akan diketahui kapasitas pengolahan kelapa sawit sebesar 23,7 ton/jam pengolahan. Sesuai dengan Tabel massbalance dari PKS Parindu bahwa dalam 100% tandan buah segar yang diolah akan menghasilkan 23% TKKS, 16% fiber dan 6,5% cangkang. Dari persentase mass balance tersebut PKS Parindu akan menghasilkan 5,45 ton/jam TKKS serta 3,79 ton/jam fiber dan 1,54 ton/jam cangkang.

Nilai kalori limbah biomassa kelapa sawit biomassa berupa TKKS, fiber dan cangkang diasumsikan berdasarkan pengujian laboratorium yang dilakukan oleh penelitian terdahulu. Pada TKKS memiliki kadar air yang cukup tinggi oleh karena itu dilakukan perlakuan khusus untuk TKKS yang memiliki kadar air awal  $\pm 60\%$ . Agar TKKS dapat memenuhi kriteria sebagai bahan bakar di boiler di lakukan pencacahan dan pengeringan hingga menjadi serabut, dan kadar air dalam TKKS berkurang menjadi 30%. Dari pengujian nilai kalor pada TKKS dengan kadar air 30% sebesar 18.795 kj/kg serta nilai kalor pada fiber sebesar 19.055 kj/kg dan nilai kalor pada cangkang 20.093 kj/kg. Nilai kalor tersebut sangat penting dalam pembangkitan listrik tenaga uap, di mana dari nilai kalor tersebutlah dapat diketahui besar energi yang dapat dikonversikan oleh bahan bakar. Nilai kalor yang telah di dapat dari hasil pengujian tersebut kemudian diakumulasikan dengan data dari limbah biomassa PKS Parindu, maka akan dihasilkan energi sebesar 205.661.371,5 kj/jam, energi tersebut terdiri

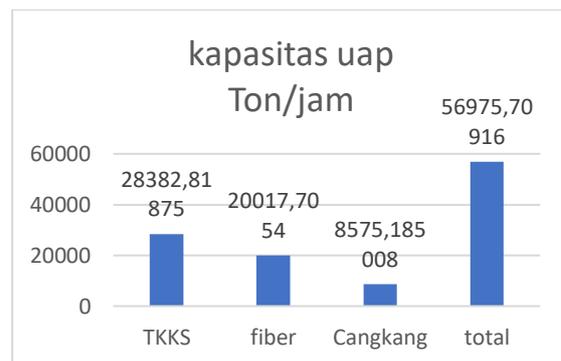
dari 102.451.545 kj/jam TKKS, 72.256.560 kj/jam fiber dan 30.953.266,5 kj/jam cangkang.

**Tabel. 2** Total Energi yang Terkandung pada Limbah Biomassa PKS Parindu

Bahan biomassa	Nilai Kalor (kj/Kg)	Kapasitas Olah (Ton/jam)	Energi (kj/jam)
TKKS	18.795	5,451	102.451.545
Fiber	19.055	3,792	72.256.560
Cangkang	20.093	1,5405	30.953.266,5
Total			205.661.372

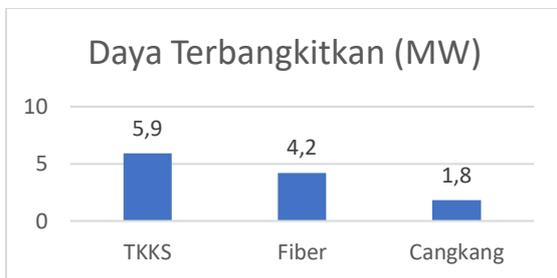
Berdasarkan dengan siklus rankine yang merupakan siklus dasar dalam pembangkitan PLTU dan prinsip-prinsip termodinamika diketahui terdapat 4 peralatan utama dalam pembangkitan PLTU. Pembangkitan PLTU dimulai dari boiler, yang mana boiler adalah tempat mengkonversikan energi panas dari bahan bakar ke air dalam penampungan hingga menghasilkan uap bertekanan tinggi melalui pembakaran dari ruang bakar. Uap panas yang dihasilkan dari boiler kemudian di salurkan menuju turbin hingga terjadi perubahan energi panas menjadi energi mekanik pada turbin. Energi mekani pada turbin tersebut akan memutar poros pada turbin yang terhubung pada generator, dan di dalam generator inilah terjadi kembali pengkonversian dari energi mekanik menjadi energi listrik. Tekanan uap yang telah dimanfaatkan untuk memutar turbin kemudian akan menjadi lebih rendah, tekanan uap yang rendah tersebut kemudian akan di dinginkan oleh kondensor hingga berubah menjadi cair kembali. Air yang berada pada kondensor kemudian akan dipompakan kembali menuju boiler untuk dipanaskan kembali menjadi uap bertekanan tinggi. Demikian seterusnya hingga menjadi sebuah sistem tertutup.

Dengan mengasumsi turbin yang ada, dengan sertifikasi temperatur uap masuk 400°C 32 bar dengan jenis uap *superheated steam* dan tekanan keluar uap 0,5 bar. sedangkan air masuk boiler memiliki temperatur 110°C. serta efisiensi boiler sebesar 80% maka akan didapatkan kapasitas uap dari TKKS 29594,45 kg/jam, fiber 20872,24 kg/jam dan cangkang 8941,25 kg/jam.

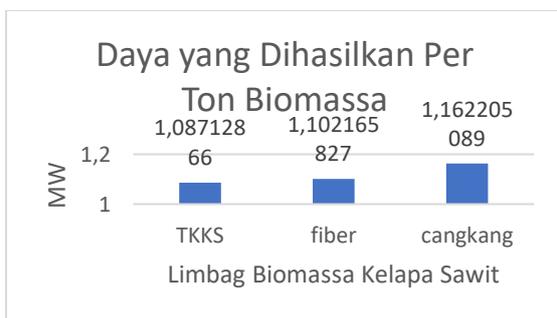


**Gambar 5** Grafik Kadar Uap Biomassa

Dengan asumsi semua aliran masa dan energi yang stady dan menerapkan konsep termodinamika pertama, maka turbin melakukan kerja ekspansi *isentropis*. Efisiensi *isentropis* diasumsikan sebesar 70% akan dihasilkan kerja turbin untuk TKKS 6584,36kW, fiber 4643,793 kW dan cangkang 1989,30 kW maka didapatkan total kerja turbin dengan menggunakan seluruh bahan sebesar 13217,453 kW. Poros turbin yang melakukan kerja tersebut akan terhubung langsung dengan generator dan akan membangkitkan energi listrik pada generator. Dengan menggunakan generator dengan efisiensi 90% maka akan terbangkitkan daya listrik pada generator sebesar 12 MW. 12 MW yang terbangkitkan ini terdiri dari 5,9 MW dari TKKS, 4,2 MW dari fiber dan 1,8 MW dari cangkang. Berdasarkan dengan daya yang dihasilkan dari setiap bahan bakar limbah biomassa tersebut dan jumlah bahan bakar maka diketahui setiap ton bahan bakar akan menghasilkan daya pada 1,08 MW/ton TKKS, 1,10 MW/ton fiber dan 1,16 MW/ton cangkang.



**Gambar 6**  
Grafik Daya yang Dibangkitkan



**Gambar 7**  
Grafik Daya yang Dibangkitkan

Dengan daya terpasang dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar limbah biomassa kelapa sawit PT. Perkebunan Nusantara PKS Parindu sebesar 12 MW dan produksi daya 87.933.073,536 kWh maka akan didapatkan faktor kapasitas pembangkitan dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar limbah kelapa sawit sebesar 83,6%.

## 5. Kesimpulan

Setelah melakukan studi literatur dan observasi lapangan serta melakukan perhitungan maka dalam penelitian ini dapat ditarik kesimpulan:

1. Selama tahun 2016 PT. Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu mendapat pasokan kelapa sawit sebanyak 175.219 ton tandan buah segar yang berasal dari kebun inti, kebun plasma, pihak ke III KUD dan pihak ke III kembayan. Dengan kapasitas pengolahan kelapa sawit sebesar 60 ton/jam PKS parindu memerlukan Waktu untuk melakukan pengolahan kelapa sawit menjadi minyak CPO selama 308 hari. Serta mengkonsumsi energi listrik sebesar 4 MW yang digunakan untuk pengolahan dan juga penerangan serta insfrastruktur PT. Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu.
2. Dalam pengolahan kelapa sawit PT. Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu menghasilkan Limbah biomassa berupa TKKS sebanyak 5,45 ton/jam. fiber sebanyak 3,79 ton/jam dan cangkang sebanyak 1,54 ton/jam. Setiap limbah pengolahan PKS ini memiliki energi yang berbeda-beda dimana TKKS memiliki energi paling besar yaitu 102.451.545 kj/jam, diikuti fiber 72.256.560 kj/jam dan cangkang 205.661.372 kj/jam.
3. Dengan menggunakan turbin yang memiliki sertifikasi temperatur 400°C dengan tekanan masuk turbin 32 bar dan tekanan keluar turbin 0,5 bar. Serta mengasumsi efisiensi boiler sebesar 80% didapatkan kapasitas uap pada TKKS sebesar 29594,45 kg/jam fiber 20872,24 kg/jam, dan cangkang 8941.25kg/jam.
4. PT. Perkebunan Nusantara XIII PKS Parindu memiliki Potensi energi listrik limbah biomassa TKKS 5,9 MW, fiber 4,2 MW, cangkang 1,8 Mw dan total potensi energi listrik sebesar 12 MW dengan daya yang digunakan pada pabrik kelapasawit adalah 4 MW.
5. Dalam 1 ton bahan bakar TKKS akan membangkitkan daya sebesar 1,08 MW, dan dalam 1 ton bahan bakar fiber akan membangkitkan daya sebesar 1,10 MW, sedangkan pada 1 ton bahan bakar cangkang akan dapat membangkitkan daya sebesar 1,16 MW.
6. Dengan produksi kWh pertahun sebesar 87.933.073,536 kWh serta daya terpasang pada pembangkit adalah 12MW, maka akan didapatkan kapasitas pembangkit listrik adalah sebesar 83,6%.

## 6. Saran

Adapun beberapa hal yang dapat ditambahkan dalam pengembangan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Akan lebih baik bila kadar air dari setiap bahan di perhatikan, karena dalam penelitian ini kadar air pada bahan diabaikan dan dianggap kadar kering.
2. Banyak persamaan yang bisa digunakan untuk mendapatkan potensi energi dari limbah biomassa kelapa sawit oleh karena itu penelitian ini dapat dikembangkan lagi semakin luas.

## Daftar Pustaka

1. Budiarto, R. 2009. *Potensi Energi Limbah Pabrik Kelapa Sawit* Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik – Universitas Gadjah Mada
2. Fauzi, Y. Widyastuti, Y.E. Satyawibawa, I. Hartono, R. 2007. *Budi Daya Pemanfaatan Hasil Dan Limbah Analisis Usaha Dan Pemasaran Kelapa Sawit*. Cetakan 21. Edisi Revisi. Jakarta: Penebar Swadaya.
3. Harris; aman, S.; Mahmudsyah, S. 2013. *Studi Pemanfaatan Limbah Padat dari Perkebunan Kelapa Sawit pada PLTU 6 MW di Bangka Belitung*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1.
4. Haywood, R. W. 1994. *Analisis Siklus-Siklus Teknik; Pusat Daya Kilang Pendingin dan Pencairan Gas*. Penerjemah, Susanto. Edisi-4. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
5. Kementerian Pertanian. 2014. *Statistik Perkebunan Indonesia 2013-2015 Kelapa Sawit*. Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta, Desember 2014.
6. Kulshrestha, S. K. 1989. *Buku Teks Termodinamika Terpakai, Turbin Uap dan Panas*. Penerjemah Budiharjo, I Made Kartika D., Budiarmo; Pendamping Susanto. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
7. Nur, Syukri M. 2014. *Karakteristik Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Bio Energi. Sangatta-Kutai Timur*. PT. Insan Fajar Mandiri Nusantara
8. Ponten, M. Naibaho. 1996. *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
9. Sianturi, R. Samuel., 2008. *Studi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Aplikasi PT. Musim Mas Kim Ii Medan*. Jurusan Teknik Elektro Ekstension Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara Medan.
10. Wibowo, Ari. 2016. *Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Biomassa Sawit (PLTBS) Kapasitas 5 MW*. Program Studi Teknik Mesin, Politeknik LPP Yogyakarta. Jurnal Mekanika dan Sistem Termal, Vol. 1(2).
11. Wijono, Agung. 2014. *PLTU Biomasa Tandan Kosong Kelapa Sawit Studi Kelayakan Dan Dampak Lingkungan. Balai Rekayasa Disain Dan Sistem Teknologi – Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi Gedung 480, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan*. Simposium Nasional RAPI XIII - 2014 FT UMS

## Biografi



Agus Dwi Putra, lahir di Sintang, 01 Agustus 1992 Menempuh Pendidikan Sarjana Teknik di Universitas Tanjungpura sejak tahun 2010 Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro.

**Menyetujui  
Pembimbing Utama,**

**Prof. Dr. Eng. Ismail Yusuf, M.T**  
**NIP. 196503181991031011**

**Pembimbing Pembantu,**

**Ayong Hiendro, S.T., M.T**  
**NIP. 196911011997021001**