

## Penggunaan Limbah Padat Kelapa Sawit Untuk Menghasilkan Tenaga Listrik Pada Existing Boiler

Dino Erivianto<sup>1</sup>, Baskoro Abhi P.<sup>1</sup>, dan Didik Notosudjono<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prodi Magister Teknik Elektro, Pascasarjana ISTN Jakarta

<sup>2</sup> Universitas Pakuan Bogor

**Abstrak**—Kelapa Sawit merupakan tanaman budidaya yang menghasilkan minyak nabati yaitu Crude Palm Oil (CPO), sangat banyak dijumpai di Indonesia terutama di pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua. Selain menghasilkan Crude Palm Oil (CPO) sebanyak 22 %, kernel 5 % dari proses pengolahan kelapa sawit dalam 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebanyak 22 % atau 220 kg, limbah cangkang (Shell) sebanyak 6 % atau 60 kg, wet decanter solid (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, serabut (Fiber) 13 % atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 28 %. Dari ke empat limbah padat tersebut limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat yang jumlahnya cukup besar, namun pemanfaatannya masih terbatas, sementara ini hanya dibakar dan sebagian dihindarkan pada lahan kosong sebagai mulsa/pupuk, di kawasan sekitar pabrik. Dari penelitian pemanfaatan limbah, diketahui tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki potensi besar untuk diolah menjadi briket sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga biomassa (PLT Biomassa) ataupun sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah. Adapun nilai kalori dari limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) 3.498 kcal/kg atau 14.650 kJ/kg (kadar air 30 % setelah dikempa), Cangkang 3.893 kcal/kg atau 16.304 kJ/kg (basah) serta Serabut 3.068 kcal/kg atau 12.849 kJ/kg dan Briket TKKS 7.490 kcal/kg atau 31.368 kJ/kg, sehingga berpotensi menghasilkan tenaga listrik dari boiler.

**Kata Kunci:** Serabut (fiber), Cangkang (Shell), TKKS, Briket TKKS, Boiler

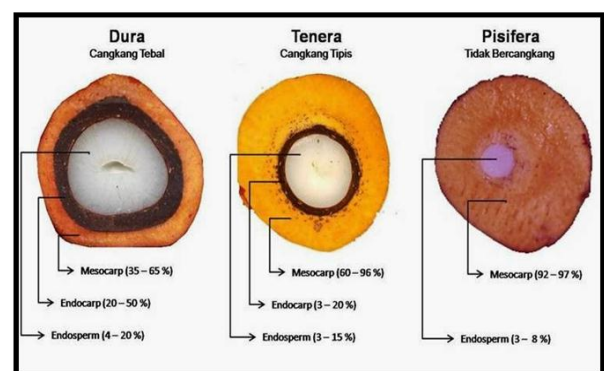
### 1. PENDAHULUAN

Agroindustri kelapa sawit di Indonesia telah memberikan banyak kontribusi pada ekonomi negara. Wujudnya antara lain, perluasan kesempatan kerja dan berusaha bagi masyarakat dan pengusaha, serta pemasukan devisa, penggerak ekonomi daerah dan pajak bagi negara (Sipayung, 2012). Pada tahun 2013 Indonesia telah berhasil mengembangkan perkebunan Kelapa sawit sekitar 9,1 juta hektar dengan produksi Tandan Buah Segar (TBS) sebanyak 24,4 juta ton.

Meningkatnya perkembangan industri kelapa sawit di Indonesia, akan meningkatkan produktivitas pengolahan produk utama kelapa sawit, yang juga berdampak pada tingginya produk samping/limbah yang dihasilkan. Namun disayangkan pemanfaatan akan produk samping kelapa sawit belum digunakan semaksimal mungkin oleh industri secara khusus maupun pemerintah secara umum. Padahal program energi kedepan dari Dewan Energi Nasional (DEN) 2005-2025 untuk mengatasi defisit energi listrik adalah memanfaatkan Energi Baru Terbarukan (EBT) salah satunya biomassa dari produk samping kelapa sawit.

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan tanaman penghasil utama minyak

nabati yang produktivitasnya lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanaman penghasil minyak nabati lainnya. Berdasarkan tebal tipisnya tempurung (cangkang) dan kandungan minyak dalam buah maka kelapa sawit dapat dibedakan dalam tiga tipe, yakni: Dura, Pisifera dan Tenera



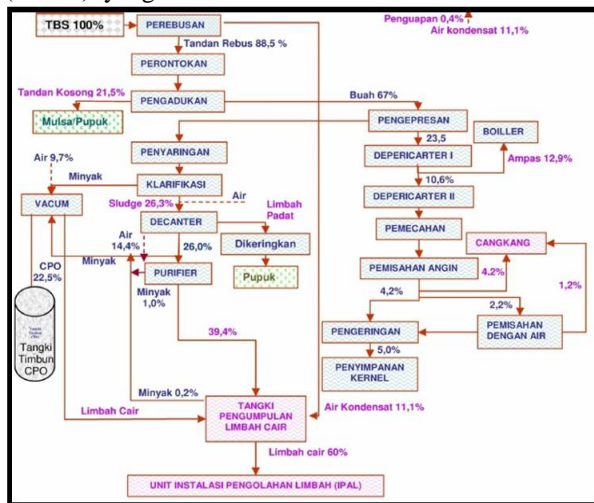
Sumber: <http://google.com/gambar/minyak> kelapa sawit

**Gambar 1.** Tipe Buah Kelapa Sawit

Hasil utama dari tanaman kelapa sawit adalah minyak sawit atau yang sering dikenal dengan nama CPO (Crude Palm Oil) dan inti sawit. Minyak sawit dapat dimanfaatkan di berbagai

industri karena memiliki susunan dan kandungan gizi yang cukup lengkap. Industri yang banyak menggunakan minyak sawit sebagai bahan baku adalah industri pangan, industri kosmetik, industri kimia dan farmasi. Bahkan minyak sawit telah dikembangkan sebagai salah satu bahan bakar (biofuel).

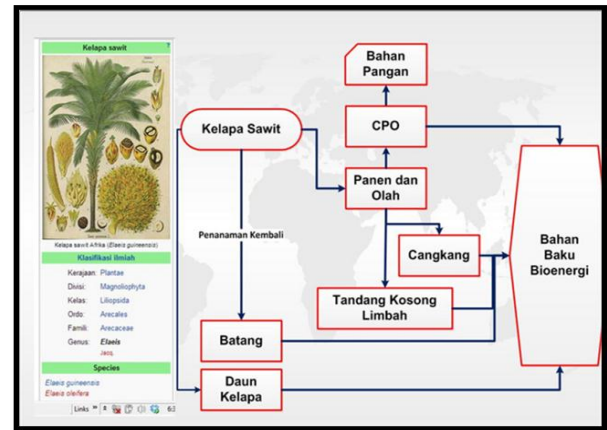
Pengolahan biji kelapa sawit bertujuan untuk mendapatkan inti sawit yang sesuai persyaratan mutu. Jumlah dan mutu inti biji kelapa sawit yang dihasilkan dipengaruhi oleh tahapan proses seperti perebusan, penebahan, pengadukan dan pengepresan. Untuk mengelola bahan baku TBS pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS) sehingga memperoleh inti sawit, memiliki beberapa tahapan proses. Produktivitas yang dihasilkan dari proses awal sampai akhir pengolahan kelapa sawit suatu PKS (Gambar 2.), sebesar CPO 22 %, Kernel 5 %, TKKS 22 %, Serabut 13 %, Cangkang Sawit 6 %, POME 28 % dan solid 4 % dari setiap ton TBS (100 %) yang diolah.



Sumber : Departemen Pertanian, 2006, 2013 Pedoman Pengolahan Limbah Industri Kelapa Sawit hal 9 diolah Syukri M Nur 2014

**Gambar 2.** Flowchart Proses Pengolahan Kelapa Sawit

Kelapa sawit selain menghasilkan sumber minyak makan serta produk turunannya juga menghasilkan produk samping kelapa sawit. Produk samping kelapa sawit merupakan bahan baku bioenergi yang berasal dari limbah perkebunan dan pabrik pengolahan TBS menjadi CPO (*crude palm oil*). Skema penyediaan bahan baku bioenergi (Gambar 3.), dimana batang dari pohon sawit tua dan daun merupakan limbah yang berasal dari perkebunan, sedangkan, cangkang, Serabut, tandan kosong, dan POME merupakan limbah dari pabrik pengolahan buah sawit.



Sumber : PT. IFMN, Syukri M Nur, 2014

**Gambar 3.** Limbah Perkebunan dan Pengolahan Kelapa Sawit

Ada enam jenis limbah yang diperoleh dari perkebunan dan pabrik kelapa sawit dan memiliki potensi energi dengan nilai energi panas (*calorific value*) terkandung didalamnya, yaitu:

**Tandan Kosong Sawit (TKS) – Empty Fruit Bunches (EFB).** Persentase TKKS terhadap TBS sekitar 22 % (220 kg) dari setiap tonnya, mengandung unsur hara N, P, K, dan Mg berturut-turut setara dengan 3 Kg Urea; 0,6 Kg CIRP; 12 Kg MOP; dan 2 Kg Kieserit, serta dengan nilai kalor sebesar 18.795 kJ/kg dalam kondisi kering (Departemen Pertanian, 2006; Syukri, M Nur, 2014)

**Serabut Sawit - Mesocarp Fiber.** Biomassa lain yang dihasilkan dari ekstraksi minyak sawit adalah serat yang disebut serabut sawit (*mesocarp fiber*). Bahan ini mengandung protein kasar sekitar 4% dan serat kasar 36% (lignin 26%), Untuk setiap ton TBS diperoleh 130 kg Serabut (13 %), dengan nilai kalor sebesar 19.055 kJ/kg dalam kondisi kering (Departemen Pertanian, 2006; Syukri, M Nur, 2014).

**Cangkang Kelapa Sawit (CKS) – Palm Kernel Shell.** Cangkang sawit biasanya digunakan sebagai bahan bakar bersama dengan tandan kosong dan serabut sawit. Untuk setiap ton TBS diperoleh 60 kg cangkang (6 %), dengan nilai kalor sebesar 20.093 kJ/kg dalam kondisi kering (Syukri, M Nur, 2014)

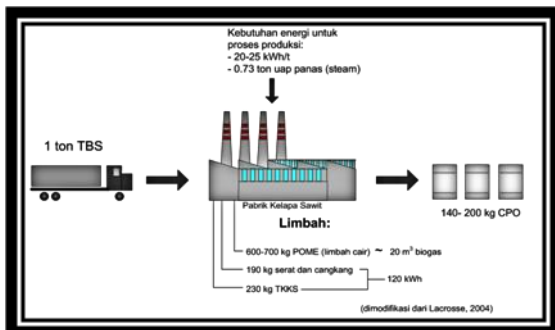
**Batang Kelapa Sawit (BKS)- Oil Palm Trunk (OPT).** Batang Kelapa Sawit (BKS) yang dihasilkan dari proses peremajaan perkebunan kelapa sawit (berumur diatas 20-25 tahun) ditebang, kemudian diparut dan dibawa ke lapangan untuk terurai secara alami. BKS mengandung kadar air yang sangat tinggi (antara 60 % sampai 300 % tergantung pada ketinggian dan usianya). Batang terdiri dari bahan lignoselulosa dan memiliki potensi untuk menjadi bahan baku berharga, dengan nilai kalor sebesar 17.471 kJ/kg dalam kondisi kering (Syukri, M Nur, 2014).

**Daun Kelapa Sawit (DKS) - Oil Palm Frond (DPF).** Daun sawit digunakan sebagai mulsa di lapangan. Ketika mereka membusuk, mereka melepaskan nutrisi ke dalam tanah. Selain itu, mulsa mengurangi erosi tanah, melestarikan kelembaban tanah, dan kegiatan peningkatan mikroorganisme. Hal ini dapat memperbaiki struktur tanah dan sifat biokimia. Para daun kelapa sawit kaya akan nitrogen dan dianggap menjadi sumber pakan ruminansia dengan nilai kalor sebesar 15.719 kJ/kg dalam kondisi kering (Syukri, M Nur, 2014).

**Limbah Cair Kelapa Sawit (LCKS) - Palm Oil Mill Effluent (POME).** POME adalah cairan oleh-produk yang dihasilkan dari pemurnian minyak mentah. Hal ini kaya nutrisi tanaman dan sedimen yang biasanya digunakan untuk pupuk di perkebunan kelapa sawit maupun sebagai pembangkit listrik. Limbah cair yang dihasilkan tersebut harus dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dibuat tindakan pengendalian limbah cair melalui sistem kolam yang kemudian dapat diaplikasikan ke lahan. Untuk setiap ton TBS diperoleh 280 kg (0,6 m<sup>3</sup>) POME, dengan nilai kalor sebesar 22.000 kJ/m<sup>3</sup> (Syukri M Nur 2014).



(Sumber : Notosudjono D, Univ Pakuan 2012)  
Gambar 4. Produk Samping Kelapa Sawit



(Sumber : Goenadi et al, 2008)  
Gambar 5. Kestetaraan Biomassa sebagai Energi Terbaru



Sumber : Notosudjono D, Perencanaan Ristek; Univ Pakuan 2012

Gambar 6. Skema Pemanfaatan Produk Samping Kelapa sawit

**2. METODA**

Potensi energi yang dapat dihasilkan dari produk samping sawit berbentuk limbah padat dapat dilihat dari nilai energi panas (calorific value). Nilai energi panas (calorific value) dari beberapa produk samping sawit ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Energi Panas (*Calorific Value*) Dari Beberapa Produk Samping Kelapa Sawit (berdasarkan berat kering)  
(Sumber : Ma et.al, 2004; Goenadi et al, 2008, diolah PT. IFMN Syukri M Nur 2014)

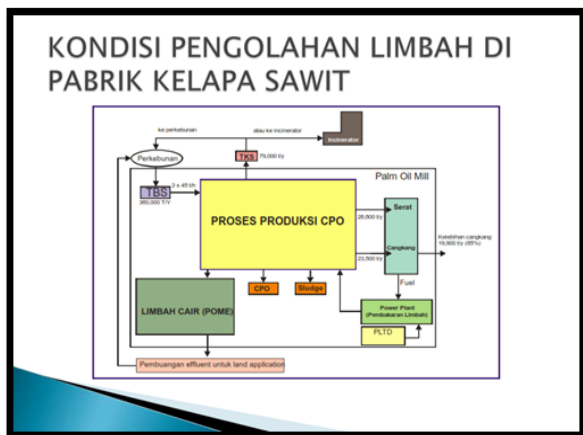
Jenis Limbah	Rata-rata calorific value(kJ/kg)	Kisaran (kJ/kg)
TKKS	18 795	18 000 – 19 920
Serat	19 055	18 800 – 19 580
Cangkang	20 093	19 500 – 20 750
Batang	17 471	17 000 – 17 800
Pelepah	15 719	15 400 – 15 680

Sebagian PKS masih membakar TKKS dalam incinerator untuk mengurangi volume limbah TKKS, walaupun sudah dilarang sejak tahun 1996 sebagaimana disajikan pada Gambar 2.15 kondisi pengolahan limbah di pabrik kelapa sawit.

Selain pemanfaatan secara langsung produk samping kelapa sawit juga bisa dijadikan sebagai briket arang. Arang adalah residu yang sebagian besar komponennya merupakan karbon dan terjadi karena penguraian kayu akibat perlakuan pemanasan. Peristiwa ini terjadi pada



pemanasan kayu langsung atau tidak langsung dalam timbunan, retort, tanur tanpa atau dengan udara terbatas (Haryanto, Tjutju N. S, 1976), ataupun hasil proses pembakaran tanpa udara



Sumber : Notosudjono D, Perencanaan Ristek; Univ Pakuan 2012  
 Gambar 7. Kondisi Pengolahan Limbah di Pabrik Kelapa sawit

(destilasi kering) yang mengeluarkan sebagian zat non karbon dalam bentuk cair atau gas (Sudrajat, 1997).

Briket adalah perubahan bentuk dari bentuk curah menjadi bentuk padat yang dihasilkan dari pemampatan komponen penyusunnya disertai panas (Nadapdap, Budiarto diolah Afianto 1994). Sedangkan Briket arang adalah arang yang mempunyai bentuk tertentu, kerapatannya tinggi, diperoleh melalui cara pengempaan arang halus yang dicampur dengan bahan perekat misalnya tanah liat, pati, ter kayu, ter bitumen, dan lain-lain.

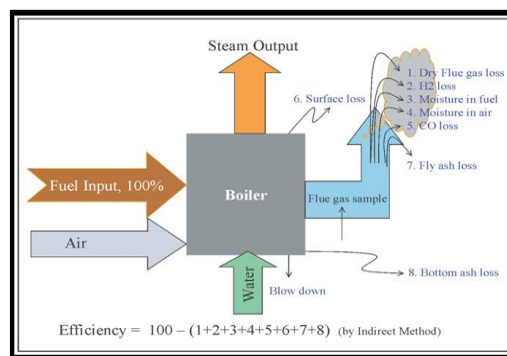
Syarat briket yang baik adalah briket yang permukaannya halus dan tidak meninggalkan bekas hitam di tangan (Mahajoeno 2005). Selain itu, sebagai bahan bakar, briket juga harus memenuhi kriteria sebagai berikut: Mudah dinyalakan ; Tidak mengeluarkan asap; Emisi gas hasil pembakaran tidak mengandung racun ; Kedap air dan hasil pembakaran tidak berjamur bila disimpan pada waktu lama; Menunjukkan upaya pembakaran (waktu, laju pembakaran, dan suhu pembakaran) yang baik.

Dalam pengolahan pada pabrik kelapa sawit, uap merupakan jantung dari sebuah pabrik kelapa sawit. Dimana uap ini lah yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap yang akan dipakai untuk mengolah kelapa sawit, untuk menghasilkan uap tersebut di lakukan pemanasan air pada ketel uap (*boiler*). Ketel uap merupakan suatu alat konversi energi yang merubah Air menjadi Uap dengan cara pemanasan dan panas yang dibutuhkan air untuk penguapan diperoleh dari pembakaran

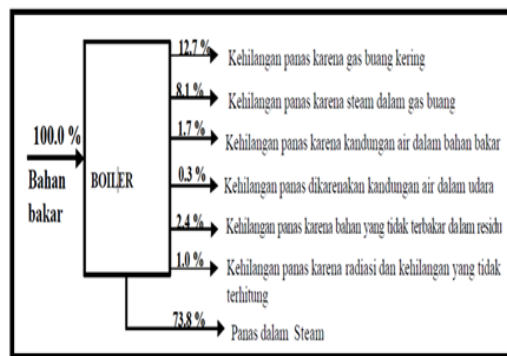
bahan bakar pada ruang bakar ketel uap menggunakan limbah padat kelapa sawit, sehingga sistem boiler terdiri dari: Sistem steam (*steam system*); Sistem air umpan (*feed water system*); Sistem bahan bakar (*fuel system*).

Sedangkan berdasarkan tipe boiler terdiri dari : Fire tube dan Water tube.

Proses pembakaran dalam boiler dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing-masing. Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk yang berbeda. Gambar 8. memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkitan steam.



Sumber : PT. REA Kaltim Plantations, 2014  
 Gambar 8. Diagram kehilangan energi pada boiler



Sumber : UNEP, 2004 diolah PT. REA Kaltim Plantations, 2014  
 Gambar 9. Diagram Neraca Energi Boiler

Kehilangan energi dapat dibagi kedalam kehilangan yang tidak atau dapat dihindarkan (Gambar 9.). Tujuan dari Produksi Bersih dan pengkajian energi harus mengurangi kehilangan

yang dapat dihindari, dengan meningkatkan efisiensi energi.

Efisiensi termis boiler didefinisikan sebagai persen energi (panas) masuk yang digunakan secara efektif pada steam yang dihasilkan. Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler :

**Metode Langsung** : energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler.

Dikenal juga sebagai ‘metode *input-output*’ karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/output (steam) dan panas masuk/input (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Pada umumnya PKS menggunakan metode langsung. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan rumus :

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times \text{GCV}} \times 100 \quad (2.1)$$

$$q \text{ bahan bakar} = \frac{Q \text{ konsumsi}}{\text{kcal bahan bakar}} \quad (2.2)$$

**Metode Tidak Langsung** : efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk. Nilai kalor yang menjadi acuan dalam perhitungan untuk menentukan kandungan kalor dalam bahan bakar terdiri dari dua jenis antara lain *High Heating Value* (HHV) yaitu nilai kalor yang terjadi jika semua uap air yang terbentuk telah terkondensasi, sehingga dalam hal ini termasuk kalor setelah terjadi penguapan uap dalam air :

$$\text{HHV} = [8.080 C + 34.5500 (H - \frac{O}{8}) + 2.220 S] \quad (2.3)$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 588,76W \quad (2.4)$$

dimana : C = Carbon (%), H = Hidrogen (%)  
O = Oksigen (%), S = Sulfur (%)  
W = Uap air (kgBB)

Panas yang dihasilkan dalam kcal/hr dari bahan bakar didalam dapur boiler sebesar :

$$\text{QBB} = \text{HHV} \times \text{BB} \quad (2.5)$$

Uap yang dihasilkan dari pemanasan air di boiler digunakan untuk pengolahan dan menggerakkan turbin. Turbin berfungsi untuk mengubah energi yang terkandung di dalam enthalpi steam menjadi energi mekanik berupa energi gerak rotasi. Energi gerak rotasi ini yang akan memutar poros (shaft) yang akan dirubah oleh generator menjadi energi listrik. Kadar uap dalam campuran disebut faktor kebasahan atau sering disingkat dengan huruf X. besar faktor kebasahan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X = \frac{h_{g(t)} - h_f}{h_f \dot{g}} = \frac{S_{g(t)} - S_f}{S_f \dot{g}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

X : faktor kebasahan (%) menyatakan persentase uap

$h_{g(t)}$  : entalpi uap pada temperatur fluida tertentu (kJ/kg)

$h_f$  : entalpi cair (kJ/kg)

$h_{fg}$  : entalpi perubahan dari cair ke gas (kJ/kg)

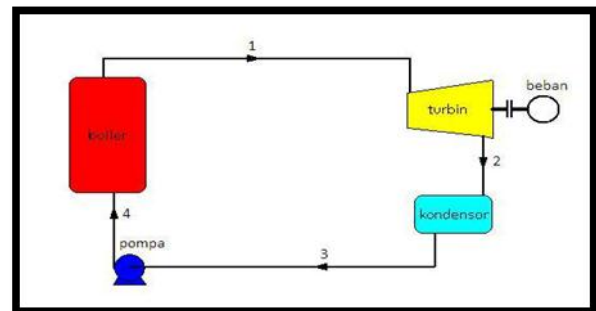
$S_{g(t)}$  : entropi uap pada temperatur fluida tertentu (kJ/kg.K)

$S_f$  : entropi cair (kJ/kg.K)

$S_{fg}$  : entropi perubahan dari cair ke gas (kJ/kg.K)

Siklus Rankine ideal sederhana (Gambar 2.20) terdiri dari :

1. Boiler sebagai alat pembangkit uap
2. Turbin uap sebagai alat mengubah uap menjadi kerja
3. Kondensor sebagai alat pengembun uap
4. Pompa boiler sebagai alat memompa air ke boiler



Sumber : Siklus Rankine

Gambar 10. Skema Siklus Rankine Ideal Sederhana

Pada siklus Rankine ideal 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. Uap tekanan rendah dari turbin uap mengalir ke kondensor. Di dalam kondensor, uap didinginkan 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. Proses ini terus berlanjut dan berulang

membentuk sebuah siklus yang disebut siklus Rankine.

Pada siklus Rankine ideal. Ke 4 alat dianggap bekerja pada kondisi *Steady flow*. Sehingga persamaan energi untuk kondisi *steady flow* dapat ditulis :

$$(Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) = h_e - h_i \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$(Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) = 0$$

$$(Q_{in} - Q_{out}) = (W_{out} - W_{in}) \left( \frac{kJ}{kg} \right) \tag{2.6}$$

Beberapa proses yang berlangsung pada masing-masing alat adalah :

Kerja pompa :

$$W_p = v(P_1 - P_4) = h_1 - h_4 \tag{2.7}$$

$$v = \frac{1}{\rho} \tag{2.8}$$

Dimana v adalah volume spesifik yang besarnya

Kalor masuk ke boiler :

$$Q_{in} = h_2 - h_1 \tag{2.9}$$

Kerja yang dihasilkan turbin uap :

$$W_T = h_2 - h_3 \tag{2.10}$$

Kalor yang dibuang oleh kondensor :

$$Q_{out} = h_3 - h_4 \tag{2.11}$$

Efisiensi thermal siklus Rankine ideal sederhana dapat dihitung :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{W_T - W_p}{Q_{in}} \tag{2.12}$$

Dimana :

$$W_{net} = W_T - W_p \tag{2.13}$$

Maka total daya yang dihasilkan boiler (Pb), turbin uap (PTt) dan daya yang dihasilkan generator (Pg) adalah :

$$P_b = Q_{in} \cdot \eta_{th} \tag{2.14}$$

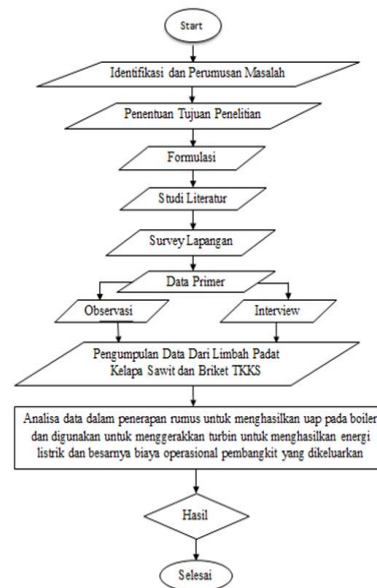
$$P_{Tt} = P_t \cdot \eta_{th} \cdot \eta_{mekanikal} \tag{2.15}$$

$$P_g = P_{Tt} \cdot \eta_G \tag{2.16}$$

Potensi daya listrik yang dihasilkan berdasarkan limbah yang digunakan (Pg potensial) adalah :

$$P_g \text{ potensial} = \frac{\text{jumlah kalori limbah tersedia}}{\text{jumlah kalori bio-massa diperlukan}} \times P_g \tag{2.17}$$

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian yaitu mulai dari tahap awal, identifikasi dan perumusan masalah, penentuan tujuan penelitian, survey lapangan, pengumpulan data hingga hasil, diterangkan dalam *flow chart* penelitian sebagai berikut :



Gambar 11. Flow Chart Penelitian

Adapun metode penelitian yang dilakukan dalam pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi :Data sekunder, dimana data-data yang diambil dari studi literatur yang ada dan dari para peneliti-peneliti sebelumnya maupun dari jurnal-jurnal teknologi di internet. Data primer, dimana data-data yang diambil dilapangan dengan 2 cara yaitu dengan cara observasi dan interview.

Sedangkan objek penelitian yang dilakukan adalah pemanfaatan limbah padat kelapa sawit dengan metode secara langsung berupa: Serabut (*fiber*) dengan nilai kalor (basah) sebesar 3.068 kcal/kg. Cangkang (*shell*) dengan nilai kalor (basah) sebesar 3.893 kcal/kg. TKKS dengan nilai kalor (kadar air 30 %) sebesar 3.498 kcal/kg. Briket Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan nilai kalor sebesar 7.490 kcal/kg.

Sehingga efisiensi dan ekonomis pemanfaatan limbah tersebut sebagai bahan bakar boiler dapat diketahui.

Adapun ketersediaan produk samping PKS yang dihasilkan dalam 1 jam kapasitas yang diolah dalam kondisi pengolahan normal sebesar (PKS 30 ton/jam) adalah :Serabut (*fiber*) sekitar 3.900 kg/jam dari pengolahan. Cangkang (*shell*) sekitar 1.800 kg/jam dari pengolahan. TKKS sekitar 3.771 kg/jam (kadar air 30 %). Briket TKKS 1.980 kg/jam.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengacu pada kebutuhan uap untuk proses pengolahan minyak sawit pada perusahaan pengolahan minyak kelapa sawit dengan kapasitas 30 ton/jam sebesar : 18.000 kg/jam. Dengan tingkat efisiensi saluran dalam perpipaan sebesar 92,5 %, maka kapasitas output boiler (mboiler ) minimal sebesar :

$$M_{boiler} = 18.000 \text{ kg/jam} \times 100/92,5 = 19.459,5 \text{ kg/jam} = 5,41 \text{ kg/detik}$$

Dengan begitu suatu PKS memiliki boiler dengan data-data boiler yang digunakan (Takuma N 600 SA) sebagai berikut :

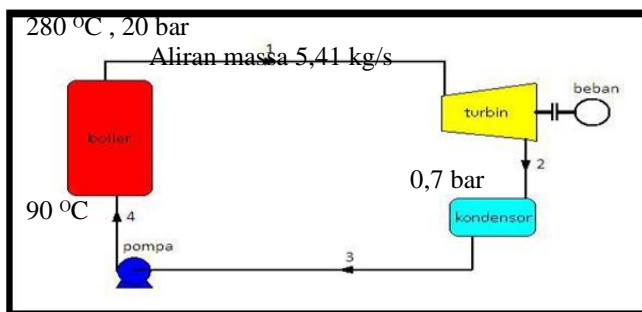
Tabel 2. Spesifikasi Pembangkit di PKS 30 ton/jam

No	Deskripsi	Satuan	Jumlah
1	Kapasitas Uap (Q)	kg/jam	20.000
2	Temperatur Uap (Tu)	°C	280
3	Tekanan Uap (P)	kg/cm <sup>2</sup>	20
4	Temperatur Air Umpan	°C	90
5	Fuel Consumption	kg/jam	5200
6	Efisiensi boiler (η)	%	73
7	Ratio Bahan Bakar	%	75 : 25
8	Efisiensi Turbin (η <sub>turbine</sub> )	%	90
9	Efisiensi Mekanik Turbin (η <sub>mekanik</sub> )	%	93
10	Efisiensi Total Generator (η <sub>G</sub> )	%	92

nilai enthalpy untuk tekanan uap 20 kg/cm<sup>2</sup> pada suhu 280° C adalah 710,9 kcal/kg dan enthalpy pada suhu 90° C adalah 90,003 kcal/kg.

#### Tenaga Listrik Yang Dihasilkan Dari Boiler

Dengan menggunakan data kebutuhan uap pada PKS serta data-data boiler, dapat dihitung harga parameter-parameter yang dicari berdasarkan sistem siklus rankine seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Siklus Rankine Tanpa Superheater Daya turbin

$$P_t = W_t \cdot m_{boiler} \cdot \eta_{turbine} = 605,27 \text{ kJ/kg} \times 5,41 \text{ kg/s} \times 0,90 = 2.947 \text{ kW} \approx 3 \text{ MW}$$

Efisiensi termodinamika siklus adalah :

$$\eta_{th} = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}} = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}} = \frac{605,27 - 2}{2597,1} = 0,23 \approx 23 \%$$

Daya boiler

$$P_b = Q_{in} \cdot m_{boiler} \cdot \eta_{th} = 2597,1 \text{ kJ/kg} \times 5,41 \text{ kg/s} \times 0,23 = 3.231,57 \text{ kW} \approx 3,232 \text{ MW}$$

Maka total daya yang dihasilkan turbin uap (P<sub>T</sub>) dan daya yang dihasilkan generator (P<sub>G</sub>) adalah :

$$P_{Tt} = P_t \cdot \eta_{th} \cdot \eta_{mekanikal} = 2.947 \text{ kW} \times 0,23 \times 0,93 = 630,36 \text{ kW}$$

$$P_G = P_{Tt} \cdot \eta_G = 630,36 \text{ kW} \times 0,92 = 580 \text{ kW}$$

Tabel 3. Tenaga Listrik yang Dihasilkan Boiler Berdasarkan Perhitungan

Parameter	Satuan	Nilai
Kapasitas boiler	kg/jam	20.000
Tekanan boiler	kg/cm <sup>2</sup>	20
Temperatur Uap	°C	280
Temperatur Air Umpan	°C	90
Efisiensi Thermodinamika	%	23
Efisiensi Mekanik	%	93
Efisiensi Turbin	%	90
Efisiensi Total Generator	%	92
Massa Boiler	kg/s	5,41
Kerja Turbin	kJ/kg	605,27
Daya Kerja Turbin	kW	2.947
Kalor Masuk	kJ/kg	2.597,10
Daya Boiler	kW	3.232
Daya Turbin	kW	630,36
Daya Generator	kW	580

#### Bahan Bakar Bio-massa Yang Diperlukan

Dengan menggunakan data-data pada subjek penelitian diatas dapat dihitung konsumsi kalori yang dibutuhkan boiler, yaitu :

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times \text{GCV}} \times 100$$

Sehingga :

$$Q_{\text{konsumsi}} = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{\eta} = \frac{19.459,5 \times (710,9 - 90,5)}{0,73}$$

$$= 16.537.909 \text{ kcal/jam}$$



Dari ketersediaan produk samping kelapa sawit dan besarnya nilai kalori limbah, maka potensi nilai kalori dari limbah adalah :

$$\text{Serabut: } 3900 \text{ kg/jam} \times 3.068 \text{ kcal/kg} \\ = 11.965.200 \text{ kcal/jam}$$

$$\text{Cangkang: } 1.800 \text{ kg/jam} \times 3.893 \text{ kcal/kg} \\ = 7.007.400 \text{ kcal/jam}$$

$$\text{TKKS: } 3.771 \text{ kg/jam} \times 3.498 \text{ kcal/kg} \\ = 13.190.958 \text{ kcal/jam}$$

$$\text{Briket TKKS: } 1.980 \text{ kg/jam} \times 7.490 \text{ kcal/kg} \\ = 14.830.200 \text{ kcal/jam}$$

#### Potensi Daya Listrik Berdasarkan Limbah Yang Tersedia

Dari perhitungan, potensi daya listrik yang dapat dihasilkan dari limbah yang tersedia adalah :

1) Serabut

$$\text{Pg potensial} = \frac{11.965.200}{16.537.909} \times 580 \text{ kW} \\ = 420 \text{ kW}$$

2) Cangkang

$$\text{Pg potensial} = \frac{7.007.400}{16.537.909} \times 580 \text{ kW} \\ = 245,8 \text{ kW}$$

3) TKKS

$$\text{Pg potensial} = \frac{13.190.958}{16.537.909} \times 580 \text{ kW} \\ = 462,6 \text{ kW}$$

4) Briket TKKS

$$\text{Pg potensial} = \frac{14.830.200}{16.537.909} \times 580 \text{ kW} \\ = 520,11 \text{ kW}$$

#### Ketersediaan Daya Listrik Untuk Pihak Luar

Kebutuhan akan daya listrik pabrik sawit dalam 1 ton/tbs sekitar 15 – 17 kW, sehingga untuk PKS kapasitas 30 ton/jam kebutuhan akan daya listrik sebesar :

$$\text{Daya listrik PKS} = 30 \times (15 - 17) \text{ kW} \\ = 450 - 510 \text{ kW/jam}$$

Maka ketersediaan daya listrik untuk pihak luar berdasarkan kapasitas boiler yang tersedia dan daya listrik yang diperlukan PKS adalah sebesar :

$$580 - (450 - 510) \text{ kW} = 130 - 70 \text{ kW/jam}$$

#### Analisa Ekonomi Dari Limbah Padat PKS Sebagai Bahan Bakar Boiler

Adapun nilai ekonomis yang dikaji dalam makalah ini berupa perbandingan besarnya biaya bahan bakar, rasio bahan bakar, kalori bahan bakar, banyaknya bahan bakar dan biaya operasi pembangkit yang dikeluarkan dari masing-masing limbah PKS yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar, serta penjualan sisa daya kepada pihak luar sebesar 403,2 MW per tahun sebesar Rp.695.520.000/tahun. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.

Selain dari penjualan kelebihan daya listrik keuntungan yang didapat juga dari penjualan

abu sisa bahan bakar, yang mana pada saat ini abu sisa pembakaran TKKS dijual dengan harga Rp. 1.500/kg. Banyaknya abu pembakaran yang dihasilkan sebesar 2 – 4 % dari TKKS yang dibakar, menghasilkan penjualan abu sebesar Rp. 220.700/jam (Rp.1.271.241.216/tahun), sedangkan minyak dari proses kempa sebesar 0,2 – 0,4 % dari TKKS dengan harga Rp. 6000/kg menghasilkan penjualan minyak sebesar Rp. 158.400/jam (Rp.912.384.000/tahun).

#### 4. SIMPULAN

Pada dasarnya semua produk samping kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai energi baru terbarukan sesuai dengan pemanfaatan yang diinginkan (*Zero Emissions*) model linier konvensional.

Nilai kalor dari limbah padat kelapa sawit terpengaruh dari kadar air yang dikandungnya.

Rendemen limbah padat kelapa sawit pada waktu dikarbonisasi (pengarangan) sekitar 30 %.

Pemanfaatan Briket TKKS campur TKKS dengan rasio 25 : 75 mendapatkan nilai ekonomis dengan biaya termurah dari jenis limbah yang lainnya sebesar Rp.6.190.370.936 per tahun nya.

Pemanfaatan TKKS sebagai energi baru terbarukan dapat ditingkatkan.

Pemanfaatan produk samping kelapa sawit berupa TKKS memiliki nilai ekonomis dengan pengempaan terlebih dahulu menghasilkan minyak 0,2 – 0,4 % dari TKKS serta income penjualan minyak sebesar Rp.912.384.000/tahun dan abu pembakaran bisa dijadikan pupuk kalium 2 – 4 % dari TKKS dengan income penjualan abu TKKS sebesar Rp.1.271.241.216/tahun dan kelebihan daya yang dibangkitkan sebesar 403.200 kW setara dengan 403,2 MW dengan income sebesar Rp.695.520.000/tahun.

Menurunkan pembentukan gas CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> efek pembentukan gas rumah kaca sebesar 315 gr CO<sub>2</sub>eq/kWh hingga 105 gr CO<sub>2</sub>eq/kWh.

Mengurangi biaya produksi dari pembuatan pupuk kalium dengan pembakaran TKKS di incinerator.

Untuk briket limbah padat kelapa sawit sangat ekonomis jika pemanfaatannya untuk rumah tangga sebagai pengganti bahan bakar minyak.

Sisa listrik yang dihasilkan dapat diberikan kepada masyarakat sekitar pabrik sebagai penerangan.

Apabila semua PKS dapat menyalurkan kelebihan daya listrik kepada pihak lain, maka krisis listrik dapat diatasi segera.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Anonim, "Industri Minyak Sawit Indonesia Menuju 100 Tahun NKRI", GAPKI. 2014.
- [2]. A Isaac Bamgboye, D.N. Onwe, "Development of a Dual Energy Steam Boiler



for Small Scale Sterilization of Palm Fruit”, May 2015

[3]. Aziz Amiral, “Investigas Pengaruh Pemanfaatan Tandan Buah Kosong Sebagai Bahan Bakar Boiler Terhadap Pembentukan Gas Rumah Kaca”, Januari 2000..

[4]. Anonim., “Steam Boiler Technology eBook”, Department of Mechanical Engineering, Helsinki University of Technology, 2002.

[5]. Bahrudin Imam. “Peningkatan Efisiensi Boiler Dengan Menggunakan Economizer” PT. REA Kaltim Plantations 2014.

[6]. Jeff Stein, “Designing Efficient Boiler System for Commercial Buildings” Taylor Engineering Alameda, CA, May 2010.

[7]. M Nur Syukri. “Karakteristik kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Bioenergi” PT. Insan Fajar mandiri Nusantara.

[8]. Naibaho Ponten M, “Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit”,Medan, Penerbit PPKS, 1998

[9]. Naibaho Ponten M, “Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit”,Medan, Penerbit PPKS, 1998

[10]. Pasaribu N.”Minyak Buah Kelapa Sawit”. e-USU Repository 2004.

[11]. Pahan I. “ Panduan lengkap Kelapa Sawit”, Jakarta, Penerbit Swadaya, 2008.

[12]. Sunarwan Bambang, Juhana Riyadi. “Pemanfaatan Limbah Sawit Untuk Bahan Bakar Energi Baru Dan Terbarukan (EBT)” Tekno Insentif Kopwil 4, Volume 7, No 2, Oktober 2013.

[13]. Sri Wahyono, Firman L Sahwanda, Feddy Suryanto. “Tinjauan Terhadap Perkembangan Penelitian Pengolahan Limbah Padat Pabrik Kelapa Sawit” Peneliti BPPT, Jakarta 2008.

[14]. Sihombing Valdo, Haryanto Nasrun, Saodah Siti, “Analisis Perhitungan Ekonomi Dan Potensi Penghematan Energi Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Di Pabrik Kelapa Sawit PT. X”, April 2014.

[15]. Thomas H. Durkin, P.E, : Boiler System Efficiency, 2006.

[16]. Wijono Agung, “PLTU Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit Studi Kelayakan Dan Dampak Lingkungan”, BPPT 2014.

Jenis bahan Bakar	Cangkang (6%)			Fiber (13 %)			TKKS 22 % (KA 60 % menjadi 30 %)			Briket TKKS (30 % dari 22 % TKKS)		
Kcal/kg Bahan Bakar	3.893			3.068			3.498			7.490		
Kg/jam Bahan Bakar	1.800			3.900			3.771			1.980		
Rp/kg Bahan Bakar	600			200			200			700		
Kcal/jam Bahan Bakar	7.007.400			11.965.200			13.190.958			14.830.200		
Kcal/jam Boiler	16,537,909											
Kekurangan Bahan Bakar Kcal/jam	-9.530.509			-4.572.709			-3.346.951			-1.707.709		
Rasio Bahan Bakar Untuk Boiler	Cangkang : Fiber			Cangkang : TKKS			Briket TKKS : Fiber			Briket TKKS : TKKS		
	25 : 75	30 : 70	35 : 65	25 : 75	30 : 70	35 : 65	25 : 75	30 : 70	35 : 65	25 : 75	30 : 70	35 : 65
Kcal/kg Bahan Bakar	3.274	3.316	3.357	3.597	3.617	3.636	4.174	4.395	4.616	4.496	4.696	4.895
Kg/jam Bahan Bakar Dibutuhkan	5.051,2856	4.987,3067	4.926,3953	4.597,69502	4.572,272	4.548,38	3.962,125	3.762,892	3.582,736	3.678,361	3.521,701	3.378,531
Rp/kg Bahan Bakar	300	320	340	300	320	340	325	350	375	325	350	375
Rp/jam Biaya Bahan Bakar	1.515.385,7	1.595.938,1	1.674.974,4	1.379.308,51	1.463.127	1.546.449	1.287.691	1.317.012	1.343.526	1.195.467	1.232.595	1.266.949

Tabel 4. Bahan Bakar Dan Biaya Bahan Bakar PKS Kapasitas 30 Ton/Jam