

PLTU BIOMASA TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT STUDI KELAYAKAN DAN DAMPAK LINGKUNGAN

Agung Wijono¹

¹Balai Rekayasa Disain dan Sistem Teknologi – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Gedung 480, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, 15314 Telp. 021-7563213
E-mail: agung.wijono@gmail.com

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga uap yang berbahan bakar biomasa (PLTU Biomasa) dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi pilihan untuk dikembangkan di wilayah Sumatera dan Kalimantan. Pengembangan PLTU skala kecil memiliki prospek bagus terutama untuk daerah terpencil yang dikategorikan sebagai isolated area dengan memanfaatkan potensi bahan bakar yang ada di daerah setempat. Biomasa dari TKKS pada umumnya memiliki nilai kalori rendah dengan kadar air tinggi, namun sangat potensial untuk dikembangkan sebagai bahan bakar pada PLTU skala kecil. Mengingat biomasa tersebut lebih tersedia dan terkonsentrasi di beberapa tempat seperti di area pabrik kelapa sawit dan lokasi perkebunan kelapa sawit yang terpencil dan tersebar hampir di seluruh wilayah di Sumatera dan Kalimantan serta beberapa wilayah di Sulawesi dan Papua. Kajian ini berupa studi kelayakan yang menganalisa dari segi potensi bahan baku, persyaratan teknis, kelayakan finansial, serta pengaruh dampak lingkungan. Hasil kajian ini untuk memperoleh kelayakan dan konseptual disain PLTU Biomasa dari TKKS yang mempunyai disain unik pada fuel pre-treatment (perlakuan dan proses awal dari bahan bakar) dengan memanfaatkan tingkat kandungan dalam negeri (TKDN) maksimal serta bertujuan mendorong proses kemandirian nasional di bidang pembangkit listrik. Kegunaan kajian ini adalah diversifikasi produk pabrik kelapa sawit, termanfaatkannya limbah padat tandan kosong kelapa sawit, serta berdampak menekan emisi gas rumah kaca.

Kata kunci: *Tandan kosong kelapa sawit (TKKS); PLTU skala kecil; TKDN maksimal; pre-treatment bahan bakar TKKS; gas rumah kaca.*

Pendahuluan

Sebagai negara agraris, ketersediaan biomasa sangat melimpah di Indonesia. Salah satu masalah utama dalam pemanfaatan limbah biomasa adalah pengumpulan karena lokasinya yang sangat tersebar. Hal tersebut mengakibatkan adanya penambahan biaya untuk pengumpulan biomasa tersebut, belum lagi homogenitas biomasa yang relatif tidak stabil. Oleh karena masalah tersebut, maka pemanfaatan biomasa relatif tidak dapat dilakukan secara masif, baik untuk konversi ke listrik, gas ataupun untuk pembuatan pupuk. Skala kecil ini berakibat kurang ekonomisnya plant biomasa dari sisi finansial sehingga kontinuitas pengoperasiannya menjadi terhambat.

Berangkat dari hal tersebut di atas, maka pabrik kelapa sawit merupakan sumber limbah biomasa yang potensial mengingat limbah biomasa yang ada sudah terkumpul sehingga dapat mengurangi atau menghilangkan biaya pengumpulan. 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 pada saat ini Indonesia merupakan produsen minyak kelapa sawit (CPO) terbesar di dunia dengan produksi sebesar 26 juta ton pada tahun 2013. Produksi tersebut diperoleh dari perkebunan kelapa sawit seluas 9 juta hektar atau sekitar 42,4 % dari total lahan perkebunan nasional pada tahun yang sama.

Prosentase kandungan minyak kelapa sawit terhadap tandan buah segar (TBS) sekitar 24%, sedangkan prosentasi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap tandan buah segar sekitar 21%. Sehingga potensi tandan kosong kelapa sawit mencapai sekitar 22.75 juta ton per tahun dengan kadar air 60%, atau sekitar 9.1 jt ton kering. Dengan kandungan energi tandan kosong kering sekitar 18,795 MJ/ton, dan dengan efisiensi pembangkit listrik tenaga biomasa skala kecil sekitar 20%, maka dapat dibangkitkan energi listrik dengan kapasitas 1,085 GWe. Potensi ini berpeluang dibangunnya PLTU Biomasa skala kecil disekitar Pabrik Kelapa Sawit (PKS).

Tandan kosong kelapa sawit diketahui mengandung kadar air yang sangat tinggi sekitar 60%-65%, dan mengandung potasium (K) yang mencapai 2,4% (Nasrin A.B. et al, 2008), selain itu juga diketahui mengandung klorin (Cl). Efek korosi akan meningkat dengan meningkatnya kandungan Cl, dan unsur potasium dapat berperan dalam pembentukan deposit pada *superheater* yang dapat mengganggu proses pemindahan panas di tungku bakar (General Guide Biomass, 2010; Yuanyuan Shao, 2012).

Masalah utama dalam pemanfaatan biomasa TKKS sebagai bahan bakar PLTU Biomasa ada pada pre-treatment TKKS itu sendiri (menurunkan kadar alkali dan menurunkan kadar air dalam TKKS) sebelum masuk ke boiler. Sebab teknologi PLTU Biomasa untuk sub-sistem lainnya sudah dapat dikatakan sempurna atau terjamin dengan sudah sangat banyaknya PLTU berdiri dan dioperasikan secara sukses di berbagai negara. Dengan adanya skema penjualan listrik kepada PT PLN (Persero), diharapkan dapat membantu suplai listrik dari PT PLN (Persero) kepada konsumen di seluruh wilayah Indonesia, khususnya konsumen di lokasi dimana listrik dibangkitkan. Hal ini tentunya akan meningkatkan perekonomian daerah tersebut, mengurangi pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dengan biaya operasional dan perawatan yang tinggi, serta diharapkan dapat mengurangi biaya subsidi listrik dari Pemerintah. Kajian dampak lingkungan (LCA) dari efek gas rumah kaca (GRK) yang ditimbulkan oleh PLTU Biomasa TKKS diharapkan untuk memahami penerapan Energi Bersih dan Industri Hijau.

Metoda Penelitian

Kajian ini sebagai studi kelayakan dalam rangka pembangunan PLTU Biomasa TKKS dengan tinjauan potensi bahan baku, persyaratan teknis, kelayakan ekonomi, pengaruh dampak lingkungan, serta produk listriknya yang dijual kepada PT PLN (Persero). Kajian kelayakan ini tidak dilakukan secara spesifik untuk lokasi tertentu. Untuk keperluan analisa bahan bakar dipakai sampel TKKS dari PTPN IV dan PTPN VIII. Data potensi kebun dan TKKS menggunakan data kebun PTPN V sebagai contoh untuk keperluan perhitungan keekonomian PLTU. Secara umum metodologi kajian kelayakan ini dilaksanakan dalam bentuk:

- Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder
- Melakukan studi literatur dengan menelaah, mengkaji dan menganalisis data sekunder
- Melakukan wawancara dan diskusi
- Melakukan pengamatan langsung
- Melakukan percobaan penurunan kadar abu dan pengeringan TKKS untuk mendapatkan gambaran nilai investasi pre-treatment yang diperlukan
- Melakukan perhitungan dan analisa faktor bahan baku, teknis, ekonomis, dan lingkungan.

Metodologi penentuan lokasi PLTU Biomasa TKKS mirip dengan penentuan aspek-aspek yang digunakan untuk penentuan lokasi PLTU pada umumnya yaitu: aspek fisik lokasi, aspek kelistrikan, aspek jalan masuk, aspek bahan bakar dan air, aspek lingkungan, serta aspek biaya (Febijanto, Irhan, 2011).

Peraturan Menteri ESDM Nomor 27 Tahun 2014 tentang Pembelian Tenaga Listrik dari PLT Biomasa dan PLT Biogas oleh PT. PLN (Persero). Bab II tentang Harga Jual Tenaga Listrik dari PLT Biomasa dengan kapasitas sampai dengan 10 MW diatur pada Pasal 4 dan ditetapkan sebagai berikut:

- a. Rp.1.150,-/kWh x F, jika terinterkoneksi pada Tegangan Menengah, atau
- b. Rp.1.500,-/kWh x F, jika terinterkoneksi pada Tegangan Rendah.

Dimana F merupakan faktor insentif sesuai dengan lokasi pembelian tenaga listrik oleh PT PLN (Persero) dengan besaran sebagai berikut: Pulau Jawa, F = 1,00; Pulau Sumatera, F = 1,15; Pulau Sulawesi, F = 1,25; Pulau Kalimantan, F = 1,30; Pulau Bali, Pulau Bangka Belitung, Pulau Lombok, F =1,50; Kepulauan Riau, Pulau Papua dan Pulau lainnya, F = 1,60. Harga jual tenaga listrik tersebut sudah termasuk seluruh biaya pengadaan jaringan penyambungan dari PLT Biomasa ke jaringan listrik PT. PLN (Persero), dan merupakan harga yang langsung dituangkan dalam PJBL tanpa negosiasi harga dan tanpa eskalasi harga (Permen ESDM No.27, 2014).

**Hasil Dan Pembahasan
Neraca Masa PKS**

Limbah atau produk samping PKS yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler pembangkit adalah cangkang, serabut dan TKKS. Tabel 1 memperlihatkan disain neraca masa PKS Tinjowan milik PTPN IV yang ditingkatkan kapasitasnya dari 45 ton TBS/jam menjadi 60 ton TBS/jam. Terlihat bahwa TKKS memiliki kelimpahan yang sangat besar setelah minyak sawit dengan proporsi sekitar 21% dari TBS yang diolah.

Tabel 1. Neraca Masa PKS Kapasitas 60 ton TBS/jam

Input		Output	
TBS Olah	60,0	CPO	14,6
Steam Perebusan	13,4	PKO	3,3
Steam Digester	2,4	TKKS	12,6
Hot Water Pressing	10,8	Serabut	8,4
Total Input (Ton)	86,6	Cangkang	4,2
		Sludge (drain)	30,8
		H2O (atmosfir)	12,7
		Total Output (Ton)	86,6

Dengan mengacu kepada neraca masa di atas, maka jumlah tandan kosong yang dapat dipergunakan sebagai bahan bakar adalah sekitar 12,6 ton/jam dengan kadar air sekitar 60%. Berdasarkan data dari PKS-PKS PTPN V, operasional pabrik kelapa sawit rata-rata sekitar 20 jam per hari dan 285 hari per tahun, dengan demikian maka produk TKKS tahunan adalah sekitar 72.000 ton dengan kadar air 60% (PTPN V, 2013).

Hasil Pengujian TKKS

Tabel 2 memperlihatkan hasil analisa TKKS *as received basis* dengan sampel dari PKS Tandun Riau, PKS Tinjowan Sumatera Utara dan PKS Dolok Ilir Sumatera Utara sedang analisa abunya diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Karakteristik TKKS dari berbagai PKS

Parameter Uji	Sumber TKKS			
	Tandun	Dolok Ilir #1	Dolok Ilir #2	Tinjowan
<u>Analisa Proksimat (wt.%):</u>				
- Kadar air	14,43	56,79	33,31	44,60
- Kadar abu	5,02	2,34	3,20	3,26
- Volatile matter	68,26	34,29	53,44	42,20
- Fixed carbon	12,29	6,58	10,06	9,94
<u>Analisa Ultimat (wt.%):</u>				
- Kadar air	14,43	56,79	33,31	44,60
- Kadar abu	5,02	2,34	3,20	3,26
- Karbon	45,94	24,89	35,18	26,94
- Hidrogen	5,64	3,90	4,80	3,22
- Sulfur	0,14	0,07	0,13	0,05
- Nitrogen	3,99	0,00	0,00	0,35
- Oksigen	24,84	12,01	23,39	21,58
<u>Nilai Kalor. HHV (kcal/kg)</u>				
- Hasil pengukuran	4702	2382	3718	2460
- Channiwala formula	4768	2866	3694	2603

Seperti diperlihatkan dalam tabel di atas, nilai dari parameter-parameter uji untuk 4 sampel TKKS sangat bervariasi. Kontributor utama terhadap terjadinya variasi ini adalah kadar air yang berbeda-beda dari setiap sampel. Pada umumnya, ketika baru pertama kali keluar dari PKS, kadar air TKKS berada pada kisaran 60%.

Tabel 3. Hasil Analisa Abu TKKS dari berbagai PKS

Parameter Uji	Sumber TKKS			
	Tandun	Dolok Ilir #1	Dolok Ilir #2	Tinjowan
<u>Ash Fusion Temperature (°C):</u>				
- Initial deformation	1018	930	1043	940
- Softening	1022	1011	1148	1019
- Hemispherical	1072	1105	1208	1024
- Fluid	1073	1162	1254	1185
<u>Komposisi Abu (wt.%):</u>				
- SiO ₂ (silicon dioksida)	-	21,90	22,61	24,98
- Al ₂ O ₃ (aluminium trioksida)	-	1,40	0,54	1,14
- Fe ₂ O ₃ (iron trioksida)	-	0,41	0,52	2,04
- CaO (kalsium oksida)	-	2,30	4,08	5,16
- MgO (magnesium oksida)	-	2,38	4,13	1,16
- K ₂ O (kalium oksida)	-	7,33	10,49	27,21
- Na ₂ O (sodium oksida)	-	2,57	2,60	0,60
- TiO ₂ (titanium dioksida)	-	0,40	0,40	1,45
- MnO ₂ (mangan oksida)	-	0,22	0,26	0,36

Analisa abu memberikan indikasi mengenai potensi *fouling* dan *slagging* selama proses pembakaran dalam boiler. Pada *fouling* dan *slagging* deposit material non-organik dari biomasa selama proses pembakaran menempel pada permukaan tube boiler dan kemudian menjadi sumber korosi. Deposit juga mengakibatkan turunnya *heat absorption capacity* dari tube sehingga menaikkan temperature gas buang dengan efek lanjutan menurunnya produk uap dan turunnya efisiensi boiler. Perhatian khusus harus ditujukan kepada kandungan kalium, klorin dan sulfur serta sulfatisasi kalium klorida menjadi kalium sulfat. Kalium dan Natrium memiliki titik leleh dan penguapan yang

relatif lebih rendah yaitu sekitar 900°C, apabila dibandingkan dengan logam alkali lainnya yang di atas 1.500°C. Sementara itu, klorin jika bersenyawa dengan kalium menjadi senyawa KCl dengan titik leleh yang jauh lebih rendah lagi yaitu sekitar 500-600°C dengan sifat yang sangat korosif (Thomas R. Miles, 1995).

Bahan bakar TKKS memiliki kandungan kalium dan natrium yang relatif tinggi jika dibandingkan dengan batubara. Meskipun demikian TKKS terbebas dari kandungan klor yang biasanya banyak terkandung dalam jerami gandum. Oleh karena itu jika mempergunakan boiler konvensional seperti stoker dengan temperature furnace sekitar 1.400°C, maka kandungan kalium dan natrium harus dihilangkan atau minimal diturunkan. Selama tidak ada klorin, penghilangan atau penurunan kadar kalium/ natrium tidak perlu dilakukan jika mempergunakan fluidize bed boiler karena temperature furnace boiler tipe ini hanya sekitar 800 °C (Yin C.Y., 2011).

Potensi Energi Listrik

Potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan ditentukan dengan mengukur atau menghitung nilai kalor dan jumlah bahan bakar TKKS yang tersedia. Nilai kalor TKKS dapat dihitung dengan menggunakan formula yang dikembangkan pada tahun 1992 oleh Channiwala dari *The Indian Institute of Technology, Bombay* berdasarkan formula yang pada awalnya dikembangkan untuk batubara oleh DuLong pada abad ke-19. Hasil perhitungan diperoleh nilai kalor (LHV) dari TKKS pada kadar air 30% sebesar 3.498 kcal/kg.

Bahan bakar TKKS disediakan oleh pemilik kebun sawit dan PKS di area *hopper* TKKS di lokasi PKS dengan rata-rata *outflow* sebesar 12,6 ton/jam (kandungan air sekitar 60%) atau setara dengan 21% kapasitas PKS sebesar 60 ton/jam. Jika jumlah jam operasi PKS sebesar 5.700 jam/tahun (20 jam x 285 hari) dan jumlah operasi PLTU Biomasa sebesar 7.200 jam/tahun (24 jam x 300 hari), maka *inflow* TKKS ke PLTU menjadi 9,975 ton/jam dengan kandungan air 60%. Untuk menjadi TKKS dengan kandungan air 30%, input TKKS menjadi 5,7 ton/jam yang mempunyai nilai kalor (LHV) 14.645 kJ/kg atau 3.498 kcal/kg. Dengan efisiensi pembangkit 20%, maka potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh limbah TKKS dari PKS kapasitas 60 ton TBS/jam melalui konversi pembakaran via boiler adalah sekitar 4,6 MW (ESDM, 2010).

Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler didefinisikan sebagai persentase energi bahan bakar yang dapat dikonversi menjadi energi uap. Faktor efisiensi utama dalam pembakaran biomasa adalah kadar air bahan bakar, jumlah excess air dan persentase dari bagian yang tak terbakar atau terbakar sebagian dari bahan bakar. Berdasarkan the Council of Industrial Boiler Owners (CIBO), secara umum efisiensi untuk boiler stoker dan fluidized bed berada pada rentang antara 65% sampai dengan 85%. Tipe dan ketersediaan bahan bakar memiliki pengaruh utama terhadap efisiensi karena bahan bakar dengan nilai kalor tinggi dan kandungan air rendah dapat memberikan efisiensi lebih tinggi sampai 25% daripada bahan bakar dengan nilai kalor rendah dan kandungan air tinggi. Boiler biomasa biasanya dioperasikan dengan jumlah excess air yang banyak sehingga dapat mencapai pembakaran sempurna, tetapi hal ini memberikan dampak negatif terhadap efisiensi. Aturan baku CIBO mengindikasikan bahwa efisiensi boiler dapat ditingkatkan sebesar 1% untuk setiap penurunan excess air sebesar 15% (Jan Sandberg, 2010).

Perbedaan utama antara boiler stoker dan fluidized bed adalah jumlah bahan bakar yang tersisa yang tidak terbakar. Efisiensi boiler fluidized bed lebih tinggi jika dibandingkan dengan boiler stoker karena memiliki rugi-rugi pembakaran yang lebih rendah. Boiler stoker dapat menghasilkan 30-40% karbon dalam abu dan tambahan volatil dan CO dalam gas buang, sementara boiler fluidized bed biasanya dapat mencapai pembakaran 100%. Kondisi turbulensi dalam ruang bakar dikombinasikan dengan inersia panas material bed menghasilkan pembakaran lengkap, terkendali dan seragam. Faktor-faktor ini merupakan kunci dalam memaksimalkan efisiensi termal, meminimalkan char dan mengendalikan emisi. Perbandingan antara boiler stoker dengan boiler fluidized bed member indikasi yang jelas bahwa secara teknis boiler fluidized bed adalah tipe boiler yang lebih cocok untuk pembakaran biomasa apabila dibandingkan dengan boiler stoker (Widell H., 2012).

Pretreatment Bahan Bakar TKKS

Percobaan laboratorium untuk pengurangan kandungan kalium dalam TKKS telah dilakukan dengan metoda merendam TKKS dengan air pada perbandingan dan waktu yang bervariasi. Setiap perlakuan pada setiap sampel kemudian dilakukan pengujian ultimat, proksimat, nilai kalor, temperatur leleh abu, dan analisa abu untuk mengetahui kandungan apa saja dalam TKKS. Hasil pengujian dengan perlakuan perendaman TKKS dalam air:

- Abu yang dihasilkan pembakaran menjadi 40-60% lebih sedikit.
- Kandungan C dan H meningkat, memberi energi panas lebih besar, dan nilai kalor menjadi lebih besar.
- Temperatur leleh abu menjadi lebih besar.
- Mengurangi kandungan potassium (kalium) sangat signifikan.
- Perendaman selama 6 jam menghasilkan TKKS dengan kandungan kalium (K₂O) sebesar 5%, turun sangat signifikan dari sebelumnya 27% untuk TKKS tanpa perlakuan. (Raksodewanto, Agus, 2014)

Pengujian empiris membuat disain alat pengering TKKS agar diperoleh kadar air dibawah 30% sehingga siap sebagai umpan di boiler PLTU Biomasa. Konsep unit pengering dibuat agar mudah penerapan *upscaling* model. TKKS basah yang sudah tercacah dihantarkan lewat konveyor ke bagian atas pengering, lalu TKKS dijatuhkan ke bidang miring sehingga merosot ke bawah akibat gaya gravitasi. Ketika di bidang miring TKKS disemprot udara panas, sehingga ketika berjalan merosot TKKS mengalami proses pengeringan. Kecepatan TKKS diatur oleh pintu hidrolik di bagian bawah bidang miring. Dengan ketinggian sama, kapasitas pengering ditentukan oleh seberapa lebar bidang miring, lama waktu tinggal dan tinggi onggokan tandan kosong. Hasilnya diketahui bahwa semakin tinggi temperatur proses pengeringan semakin cepat. Setelah 1 jam kemampuan pengeringan berkurang dan tidak signifikan lagi kecuali suhu udara panas dinaikkan. Sehingga disimpulkan, waktu tinggal 1 jam sudah cukup mengeringkan. Suhu pengeringan 90°C sudah cukup efektif mengeringkan, dimana penambahan suhu ke 100°C tidak begitu menambah banyak air yang teruapkan lagi. (Kismanto, Agus, 2014).

Emisi Rumah Kaca PLT Biomasa TKKS

Hasil perhitungan LCA untuk memperoleh nilai emisi gas rumah kaca (GRK) dari TKKS dengan memakai dua skenario, yaitu (1) tanpa mendaur biogas dan (2) dengan mendaur biogas POME seperti yang ditampilkan pada Tabel 4 di bawah ini. Nilai emisi GRK skenario-1 tanpa mendaur biogas POME sebesar 168 kg CO_{2eq} / ton TKKS. Sedangkan nilai emisi GRK pada skenario-2 dengan cara mendaur biogas POME sebesar 56 kg CO_{2eq} / ton TKKS. Dengan memanfaatkan biogas POME berarti telah mengurangi emisi GRK sebesar 67%.

Tabel 4. Kajian Dampak Emisi (LCA) Gas Rumah Kaca (GRK) Per Ton TKKS
(1) Tanpa Mendaur Biogas POME; (2) Dengan Mendaur Biogas POME

Parameter	Total	Nilai	LC Emisi GRK (kg CO _{2eq} /ton TKKS)		
			Skenario 1	Skenario 2	
LCI Produksi 1 ton TKKS	LCI Prod 1 ton TKKS (kg/L/unit)	Faktor Emisi GRK (kg CO ₂ /kg.L,kWh)	Tanpa Mendaur Biogas POME	Dengan Mendaur Biogas POME	
INPUT					
(1) Emisi Produksi Dari Input	Benih	0,361			
	Thiram	0,0000022	4,7	0,0000104	0,0000104
	Efron	0,0000022	4,7	0,0000104	0,0000104
	Sodium Hipoklorit	0,0000003	12,5	0,0000035	0,0000035
	Listrik (PLN)	0,018	0,56	0,010	0,010
	Polybag	0,006	2,4	0,015	0,015
	- Pupuk-N	6,100	2,7	16,469	16,469
	- Pupuk-P	3,051	1,0	3,051	3,051
	- Pupuk-K	12,193	0,6	7,316	7,316
	Pestisida	0,305	11,0	3,352	3,352
Diesel (Solar)	1,808	3,1	5,605	5,605	
Air untuk Boiler	0,425				
OUTPUT					
Produksi / Hasil Samping	CPO	708,333			
	TKKS	1,000			
	Serat	583,333			
	Kernel	250,000			
	Cangkang	250,000			
Limbah Padat	Culling (limbah kecambah)	0,147			
	Decanter cake	28,333			
	Abu dari Boiler	35,417			
(2) Emisi GRK Langsung ke Udara	N ₂ O dari Pupuk N	0,096	298	28,564	28,564
	CO dari Boiler	0,708			
	NO _x dari Boiler	2,125			
	Particulates from Boiler	0,354			
	SO ₂ dari Boiler	1,417			
	CH ₄ dari POME	4,144	25	103,594	
Emisi ke Air	POME	460,417			
(3) Kredit Daur Biogas POME	Estimasi Daur Biogas	0,460	19,6	x	9,024
	Kredit dari Listrik Biogas ke jaringan listrik (PLN)	15,341	-0,56	x	-8,591
Total Life Cycle Emisi GRK (kg CO _{2eq} / ton TKKS)			167,976	55,791	

1 ton TKKS dengan kadar air 60% setara dengan 400 kg TKKS pada kondisi kering yang mempunyai nilai kalor sebesar 18,795 MJ/kg (4.492 kcal/kg). Apabila TKKS dikonversi pada PLT Biomasa dengan efisiensi 20%, maka akan menghasilkan listrik sebesar 418 kWh. Artinya 1 ton TKKS bisa menghasilkan listrik sebesar 418 kWh. Ditinjau dari sisi yang lain bahwa produksi 1 ton TKKS menghasilkan emisi GRK sebesar 168 kg CO_{2eq} pada skenario pertama dan 56 kg CO₂ pada skenario kedua. Dengan mengabaikan dampak di proses pembangkit listrik serta karena adanya efisiensi pembangkit 20%. Maka PLTU Biomasa TKKS berpotensi menghasilkan emisi GRK sebesar 402 g CO_{2eq} / kWh pada skenario 1 tanpa mendaur biogas, dan emisi GRK sebesar 134 g CO_{2eq} / kWh pada skenario 2 dengan mendaur biogas POME (Hyun Jun Cho, 2013; Sune Balle Hansen, 2012).

Pembangkit listrik yang menggunakan biomasa mempunyai emisi faktor antara 20 - 200 g CO_{2eq} / kWh, untuk pembangkit listrik batubara emisi faktornya sekitar 900 g CO_{2eq} / kWh, sedang pembangkit listrik gas alam mempunyai emisi faktor sekitar 400 g CO_{2eq} / kWh, dan perlu diketahui bahwa emisi faktor kelistrikan di Indonesia sebesar 685 g CO_{2eq} / kWh (Ecometrica, *Emission factors for grid electricity*, 2011).

Kajian Keekonomian

Dengan mempergunakan asumsi dasar, analisa finansial PLTU Biomasa dengan durasi *life time* selama 25 tahun diperlihatkan pada Tabel 5. Terlihat dari Tabel tersebut bahwa proyek layak untuk dilaksanakan karena diperoleh IRR sebesar 22,70%, lebih tinggi dari pada Weighted Average Cost of Capital (WACC) yang sebesar 15,61%. Hal ini bisa dimengerti karena pemilik PLTU Biomasa memiliki waktu pengambilan *revenue* yang relatif panjang (25 tahun) dalam mengoperasikan pembangkit. Selain itu juga pembayaran pinjaman disebar dalam jangka waktu 15 tahun sehingga cicilan tahunan yang harus dibayar menjadi kecil. Besarnya cicilan ini berpengaruh terhadap *Generating Cost* yang untuk simulasi ini berada pada kisaran Rp 805,37/kWh. Jika dilakukan perbandingan dengan tarif jual listrik sebesar Rp.1.150,-/kWh, maka terdapat margin yang cukup untuk pembayaran cicilan pinjaman. Dengan kondisi seperti ini, neraca total keuangan sudah positif pada tahun ke-5 dimana *pay back period* sudah terpenuhi pada masa 5 tahun 2 bulan (Permen ESDM No.27 Tahun 2014).

Tabel 5. Analisa Finansial

Deskripsi	Tahun	Net Cash Flow (Rp)	Akumulasi Net Cashflow (Rp)
Investasi awal tahun	-2	(21.698.348,10)	(21.698.348,10)
Investasi awal tahun	-1	(11.683.725,90)	(33.382.074,00)
Aliran Kas	1	4.671.497,27	(28.710.576,73)
Aliran Kas	2	5.505.340,84	(23.205.235,89)
Aliran Kas	3	6.366.765,95	(16.838.469,95)
Aliran Kas	4	7.255.038,47	(9.583.431,48)
Aliran Kas	5	8.169.520,30	(1.413.911,18)
Aliran Kas	6	9.109.662,30	7.695.751,12
Aliran Kas	7	10.074.997,89	17.770.749,01
Aliran Kas	8	11.065.137,01	28.835.886,02
Aliran Kas	9	12.079.760,66	40.915.646,69
Aliran Kas	10	13.118.615,81	54.034.262,50
Aliran Kas	11	13.565.973,28	67.600.235,78
Aliran Kas	12	14.634.306,87	82.234.542,65
Aliran Kas	13	15.725.909,36	97.960.452,01
Aliran Kas	14	16.840.731,30	114.801.183,31
Aliran Kas	15	17.978.768,41	132.779.951,72
Aliran Kas	16	25.363.449,00	158.143.400,72
Aliran Kas	17	26.025.303,45	184.168.704,17
Aliran Kas	18	26.710.599,78	210.879.303,95
Aliran Kas	19	27.419.483,88	238.298.787,83
Aliran Kas	20	28.152.132,46	266.450.920,29
Aliran Kas	21	27.667.904,47	294.118.824,76
Aliran Kas	22	28.411.498,10	322.530.322,86
Aliran Kas	23	29.178.430,99	351.708.753,85
Aliran Kas	24	29.968.946,63	381.677.700,48
Aliran Kas	25	30.783.307,30	412.461.007,77
Dasar Penilaian			NPV & IRR
WACC			15,61%
NPV		IDR	57.518.483,08
IRR			22,70%
Payback Period (tahun)			5,16
Kesimpulan			LAYAK

Tabel 6 menunjukkan sensitivitas proyek terhadap Biaya Investasi, besarnya eskalasi tarif listrik dan perubahan suku bunga pinjaman serta jangka waktu pengembalian pinjaman (*repayment period*).

Tabel 6. Sensitivitas Kelayakan Proyek terhadap Parameter Finansial

Parameter	Biaya Investasi				
	+20%	+10%	100%	-10%	-20%
IRR (%)	20,32%	21,43%	22,70%	24,15%	25,85%
Payback Period (tahun)	5,67	5,42	5,16	4,83	4,58
BCR	2,268	2,475	2,723	3,025	3,404
NPV (ribu Rp.)	41.354.005	49.436.141	57.518.483	65.600.409	73.682.542
Generating Cost (Rp./kWh)	837,24	821,30	805,37	789,44	773,51

Parameter	Eskalasi Tarif Listrik				
	0%	1%	2%	3%	4%
IRR (%)	10,65%	15,38%	19,29%	22,70%	25,77%
Payback Period (tahun)	9,33	7,00	5,83	5,16	3,16
BCR	0,997	1,508	2,080	2,723	3,445
NPV (ribu Rp.)	(30.124.474)	(4.167.711)	24.894.474	57.518.483	94.232.565
Generating Cost (Rp./kWh)	805,37	805,37	805,37	805,37	805,37

Parameter	Tingkat Suku Bunga Pinjaman				
	15%	14%	13%	12%	11%
IRR (%)	18,88%	20,11%	21,38%	22,70%	24,01%
Payback Period (tahun)	6,66	6,16	5,66	5,16	4,16
BCR	2,090	2,306	2,516	2,723	2,915
NPV (ribu Rp.)	25.398.755	36.352.015	47.056.839	57.518.483	67.348.833
Generating Cost (Rp./kWh)	849,11	834,19	819,62	805,37	791,45

Parameter	Jangka Waktu Pengembalian Pinjaman				
	10 tahun	12 tahun	15 tahun	17 tahun	20 tahun
IRR (%)	21,14%	21,78%	22,70%	23,66%	24,79%
Payback Period (tahun)	6,41	5,91	5,16	4,83	4,10
BCR	2,575	2,640	2,723	2,861	3,016
NPV (ribu Rp.)	49.994.478	53.304.947	57.518.483	64.540.718	72.440.966
Generating Cost (Rp./kWh)	765,27	781,31	805,37	818,58	833,44

Kenaikan biaya investasi sampai 20% ternyata proyek masih layak untuk dilaksanakan jika didasarkan kepada nilai IRR (20,32%) yang masih lebih tinggi dari pada WACC (15,61%). Kenaikan biaya investasi ini mungkin terjadi jika terjadi penguatan nilai tukar mata uang asing (US\$) terhadap rupiah karena sebagian besar peralatan mekanikal, elektrikal dan instrumentasi pada pembangkit merupakan barang impor.

Asumsi dasar eskalasi kenaikan tarif jual listrik 3% per tahun, jika asumsi ini diturunkan menjadi 2% masih layak karena nilai IRR proyek (19,29%) masih lebih tinggi dari WACC (15,61%). Namun jika diturunkan menjadi 1% sudah tidak layak, karena nilai IRR proyek (15,38%) sudah lebih rendah dari WACC (15,61%). Kenaikan suku bunga sampai 3% (menjadi 15%), ternyata proyek masih layak untuk dilaksanakan karena diperoleh IRR (18,88%) yang masih lebih tinggi dari WACC (15,61%). Jangka waktu pengembalian pinjaman dipercepat sampai 10 tahun, proyek masih layak dilaksanakan karena nilai IRR proyek (21,14%) masih lebih besar dari WACC (15,61%).

Semakin singkat *repayment period* semakin mengecilkan *generating cost*, ini disebabkan semakin turunnya *capital cost recovery* dengan semakin kecilnya total bunga yang dibayar. *Capital cost recovery* merupakan komponen utama dalam *generating cost*. Meskipun *generating cost* semakin kecil, dengan dipersingkatnya *repayment period* menjadikan IRR semakin kecil karena semakin besarnya beban pengembalian pinjaman di awal.

Kesimpulan

Pemanfaatan limbah padat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi energi listrik melalui *pretreatment* TKKS serta proses konversi dalam peralatan boiler, turbin uap dan generator, sangat layak untuk dilaksanakan. Pembangunannya bisa dengan skema pemilik kebun sawit dan PKS sebagai pengelola PLTU Biomasa maupun skema pemilik kebun dan PKS sebagai penyedia bahan bakar dan investor sebagai pengelola PLTU Biomasa.

Dalam analisa sensitifitas, jika *discount factor* disamakan dengan suku bunga pinjaman (12%), kelenturan biaya investasi hingga +20% proyek masih layak karena IRR masih lebih besar dari *discount factor*. Untuk variasi eskalasi tarif listrik, proyek masih layak jika eskalasi tidak kurang dari 2% per tahun. Tingkat suku bunga sampai 15% masih layak dilaksanakan proyek. Dilihat dari jangka waktu pengembalian pinjaman, sampai angka 10 tahun masih terlihat nilai IRR di atas *discount factor* maupun *weighted average cost of capital* (WACC) yaitu 15,61%, artinya proyek masih layak untuk dilaksanakan jika jangka waktu pengembalian pinjaman hanya 10 tahun.

Kajian LCA emisi GRK untuk TKKS sebagai limbah PKS yang akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk PLTU Biomasa memperoleh kesimpulan, bahwa PLTU Biomasa TKKS berpotensi menghasilkan emisi GRK sebesar 402 g CO_{2eq} / kWh pada skenario 1 tanpa mendaur biogas POME, serta berpotensi menghasilkan emisi GRK sebesar 134 g CO_{2eq} / kWh pada skenario 2 dengan mendaur biogas limbah POME. Besarnya potensi emisi GRK pada PLTU Biomasa TKKS bisa ditekan sangat signifikan yaitu berkurang sebesar 67% dengan cara mendaur biogas dari limbah POME yang berpotensi menimbulkan emisi gas metan (CH₄) yang sangat signifikan.

Daftar Pustaka

- A.B. Nasrin and et.al, (2008), "Oil Palm Biomass as Potential Substitution Raw Materials for Commercial Biomass Briquettes Production", *American Journal of Applied Science*, 583, Pages 179-183.
- Black & Veath, (1996), "Power Plant Engineering", Chapman & Hall.
- Ecometrica, (2011), "Electricity-Specific Emission Factor for Grid Electricity", August, EmissionFactor.com.
- ESDM, (2010), "Pekerjaan Penyusunan Rencana Umum Kelistrikan Daerah Provinsi Riau Tahun Anggaran 2010".
- Febiyanto, Irhan, (2011), "Kajian Teknis dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa Sawit, Studi Kasus di PKS Pinang Tinggi Sei Bahar Jambi", *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology* Vol.2, No.1, Pages 11-22.
- G. McCoy, (2014), "Improving Energy Efficiency through Biomass Drying", Woody Biomass CHP & District Energy Workshop, Seattle, Washington, Juni 11.
- Hyun Jun Cho, at al, (2013), "Life cycle greenhouse gas emission and energy balances of a biodiesel production from palm fatty acid distillate (PFSD)", *Applied Energy* 111, Pages 479-488.
- I.C. Igwe and C.C. Onyegbado, (2007), "A review of Palm Oil Effluent (POME) Water Treatment", *Global Journal of Environmental Research*, 1(2), Pages 54-62.
- Jan Sandberg, at al, (2010), "A 7 year long measurement period investigating the correlation of corrosion, deposit and fuel in a biomass fired circulated fluidized bed boiler", *Applied Energy* 88, Pages 99-110.
- Janti T. and Sarkki J. of Foster Wheeler, (2010), "The Utilization of CFB Technology for Large-Scale Biomasa Firing Power Plants", *Power Generation Europe*, Rai, Amsterdam, The Netherlands, June, Pages 8-10.
- Kismanto, Agus (2014), "Desain Pengereng Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa", *Seminar Nasional SPRINT 2014, LIPI Yogyakarta*.
- Michael Becidan, Lars Serum, Flemming Frandsen, and Anne Juul Pedersen, (2009), "Corrosion in waste-fired boiler", *A Thermodynamic Study*, Fuel 88, Pages 595-604.
- Mohd. Nor Azman Hassan, at al, (2011), "Life cycle GHG emission from Malaysian oil palm bioenergy development; The impact on transportation sector energy security", *Energy Policy* 39, Pages 2615-2625.
- M. Worley, (2011), "Biomass Drying Technology Update", *BioPro Expo & Marketplace*, Atlanta, Pages 14-16.
- N. Abdullah, at al, (2011), "Characterisation of Oil Palm Empty Fruit Bunches for Fuel Application", *Journal of Physics Science*, Vol.22 (1), Page 1-24.
- Parikh J., Channiwalla S.A. and Ghosal G.K., (2005), "A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels", *Fuel* Vol.84, Pages. 487-494.
- Permen ESDM No.27 Tahun (2014), tentang "Pembelian Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas oleh PT PLN (Persero)".
- Preto F., (2011), "Review of Biomass Boiler Technologies", *Agricultural Biomass for Combustion Energy*, Vol.12.
- PTPN V, (2013), "Data Tandan Buah Segar Olah di Pabrik Kelapa Sawit PT Perkebunan Nusantara V".
- Raksodewanto, Agus (2014), "Pengurangan Kandungan Kalium dalam Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Bakar Boiler", *Seminar Nasional SPRINT 2014, LIPI Yogyakarta*.
- Sumiani Yusoff, (2006), "Renewable energy from palm oil – innovation on effective utilization of waste", *Journal of Cleaner Production* 14, Pages 87-93.
- Sune Balle Hansen, at al, (2012), "Greenhouse gas reductions through enhanced use of residues in the life cycle of Malaysian palm oil derived biodiesel", *Bioresource Technology* 104, Pages 358-366.
- Thomas R. Miles, (1995), "Alkali Deposits Found in Biomass Power Plants", National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, Vol.I '95 & II '96, National Technical Information Service.
- Toscano G. and Pedretti E.F.(2009), "Calorific Value Determination of Solid Biomasa Fuel by Simplified Method", *J. of Ag. Eng. – Riv. di Ing. Agr.*, Vol. 3, Pages 1-6.
- U.S. Environmental Protection Agency, (2007), "Biomasa Combined Heat and Power Catalog of Technologies".
- Widell H., (2012), "AET Spreader stoker travelling grate-fired boilers for Biomasa", *IDA Energy Seminar: Biomasa Combustion – Challenges in Fluid Bed and Grate-firing*, March 15.
- Yin C.Y., (2011), "Prediction of higher heating values of Biomasa from proximate and ultimate analyses", *Fuel* Vol.90, Pages 1128-1132.
- Yuanyuan Shao, et al, (2012), "Ash Deposition in Biomass Combustion or Co-Firing for Power/ Heat Generation", *Journal Energies*, Vol.5, Pages 5171-5189.