

ANALISIS KEEKONOMIAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS DARI POME DENGAN *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR)

ECONOMIC ANALYSIS FOR THE DEVELOPMENT OF POME BIOGAS POWER PLANT USING CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)

Agus Sugiyono, Adiarso, Ratna Etie Puspita Dewi, Yudiartono, Agung Wijono, dan Niken Larasati

Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi, BPPT
Kluster Inovasi & Bisnis Teknologi, Gedung 720, Lantai 2
Puspiptek, Kota Tangerang Selatan, Banten 15314
e-mail : agus.sugiyono@bppt.go.id

Abstrak

Limbah cair kelapa sawit atau dikenal dengan POME (*palm oil mill effluent*) dapat diproses menjadi biogas sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik. Produksi POME saat ini dapat digunakan untuk pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) dengan kapasitas mencapai 153,4 MW yang sebagian besar berada di wilayah Sumatera. Salah satu pabrik kelapa sawit (PKS) yang berpotensi untuk pembangunan PLTBg adalah PKS Sei Pagar milik PTPN V Pekanbaru. Studi ini bertujuan untuk melakukan analisis keekonomian pembangunan PLTBg. PLTBg didesain dengan kapasitas 700 kW dengan menggunakan biodigester jenis *continuous stirred tank reactor* (CSTR). Listrik yang dihasilkan akan dijual ke PLN dengan harga jual sebesar 85% biaya pokok penyediaan (BPP) pembangkitan wilayah Riau sebesar 1.249,5 Rp/kWh. Hasil perhitungan keekonomian menunjukkan bahwa biaya investasi mencapai 26,3 miliar Rupiah dengan skema 70% pinjaman dari bank dan sisanya 30% dengan modal sendiri (*equity*). Biaya operasi dan perawatan mencapai 2,3 miliar Rupiah setiap tahun. Pembangunan PLTBg layak untuk dilaksanakan dengan nilai IRR sebesar 11,44%, waktu pengembalian modal selama 7 tahun 11 bulan, dan NPV sebesar 1.1 miliar Rupiah.

Kata kunci : POME, CSTR, PLTBg, studi kelayakan.

Abstract

Palm oil mill effluent (POME) can be processed into biogas as fuel for electricity generation. POME production now can be used for biogas power plants with capacities reaching 153.4 MW, most of which are in the Sumatera region. One of the palm oil mills that potential for the development of a biogas power plant is in the Sei Pagar palm oil mills owned by PTPN V Pekanbaru. The objective of the study is to conduct an economical analysis for the development of Biogas power plant. The power plant is designed for a capacity of 700 kW by using a continuous stirred tank reactor (CSTR) biodigester. The electric power produced is targeted to be sold to PLN at a selling price of 85% of the basic cost of electricity production of the Riau region which is 1,249.5 IDR/kWh. The results of study show that the investment costs reach 26.3 billion Rupiah, consisting of 70% bank loan scheme and 30% equity. While, the operating and maintenance costs reach 2.3 billion Rupiah per year. In conclusion, the development of a biogas power plant is feasible to be implemented with an IRR of 11.44%, a payback period of 7 years 11 months, and a NPV of 1.1 billion Rupiah.

Keywords : POME, CSTR, biogas power plant, feasibility study.

Diterima (received) : 03 Desember 2018 , Direvisi (revised) : 01 Maret 2019 ,
Disetujui (accepted) : 05 Maret 2019

PENDAHULUAN

Sejalan dengan Kebijakan Energi Nasional, pemerintah terus berupaya untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan. Salah satu potensi energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah penggunaan bahan bakar nabati (BBN) yang berbasis kelapa sawit^{1,2,3}. Perkebunan kelapa sawit di Indonesia masih terus berkembang. Luas areal perkebunan meningkat rata-rata 7,6% per tahun dalam kurun waktu 2013-2017. Hal ini didukung oleh kondisi tanah dan iklim di Indonesia yang terbukti sesuai untuk tanaman kelapa sawit. Pada tahun 2017 luas area perkebunan mencapai 14 juta Ha⁴.

Indonesia merupakan produsen kelapa sawit terbesar di dunia⁵. Perkebunan kelapa sawit di Indonesia dapat dikategorikan menjadi perkebunan rakyat, perkebunan negara dan perkebunan swasta. Total produksi sawit mencapai 37,8 juta ton pada tahun 2017, dengan pangsa produksi terbesar dari perkebunan swasta sebesar 61%, diikuti oleh perkebunan rakyat (32%) dan perkebunan negara (7%)⁶. Kelapa sawit dapat diproses di pabrik kelapa sawit (PKS) dan diolah menjadi minyak sawit mentah (*crude palm oil/CPO*) dan minyak inti sawit (*palm kernel oil/PKO*) yang sebagian besar sebagai komoditas ekspor. Selain komoditas tersebut, pabrik juga menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah padat dapat berupa tandan kosong, serat buah, pelepah, dan cangkang kelapa sawit. Sedangkan limbah cair kelapa sawit atau dikenal dengan POME (*palm oil mill effluent*) dapat diproses menjadi biogas sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik⁷.

POME berasal dari proses sterilisasi tandan buah segar, penjernihan CPO dan pemerasan tandan kosong. Sebelum dimanfaatkan menjadi biogas, POME dialirkan ke dalam kolam penampungan untuk diambil sisa minyaknya dan diturunkan suhunya sehingga siap diproses untuk menguraikan zat organik secara anaerob. Proses penguraian zat organik ini akan melepas gas metana (CH_4) ke udara yang dapat menimbulkan emisi gas rumah kaca (GRK). Gas metana mempunyai efek GRK 21 kali lebih besar dibandingkan dengan gas CO_2 ⁸. Oleh karena itu emisi GRK dapat dikurangi dengan memproses gas metana dari POME dan digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg). Pemanfaatan gas metana dari POME sebagai bahan bakar untuk PLTBg ini menawarkan alternatif untuk mengurangi dampak lingkungan dalam pengelolaan

perkebunan kelapa sawit dan sekaligus mendapatkan pasokan listrik dengan memanfaatkan energi terbarukan^{9,10,11}.

Pembangunan PLTBg harus mempertimbangkan kelayakan baik secara teknis maupun ekonomi. Beberapa tantangan yang harus dipertimbangkan adalah skala produksi, kontinuitas pasokan POME serta biaya pembangkitan listrik¹². Makalah ini membahas keekonomian pembangunan PLTBg dari POME dengan *continuous stirred tank reactor* (CSTR) secara umum, dan untuk pembahasan secara rinci diambil kasus khusus untuk diterapkan di PKS Sei Pagar di Provinsi Riau.

METODE PENELITIAN

Pendekatan perhitungan keekonomian dalam makalah ini meliputi NPV (*net present value*), IRR (*internal rate of return*), PBP (*payback period*) dan PI (*profitability indeks*). Rumus-rumus perhitungan secara rinci dibahas dalam BKF¹⁰, USAID¹², Park¹³, dan Arum¹⁴. NPV menunjukkan nilai keuntungan saat ini dari modal yang diinvestasikan selama umur proyek menggunakan faktor diskon (*discount rate*) tertentu. IRR merupakan tingkat pengembalian modal pada saat nilai NPV sama dengan nol. Nilai IRR dibandingkan dengan nilai *weighted average cost of capital* (WACC) untuk menentukan keputusan investasi. PBP digunakan untuk mengevaluasi pada tahun ke berapa investor bisa mendapatkan kembali dana yang telah diinvestasikan dalam proyek tersebut. Sedangkan PI merupakan perbandingan antara nilai kas bersih yang akan datang dengan nilai investasi yang sekarang. Semakin besar nilai PI maka investasi akan semakin layak.

Potensi PLTBg

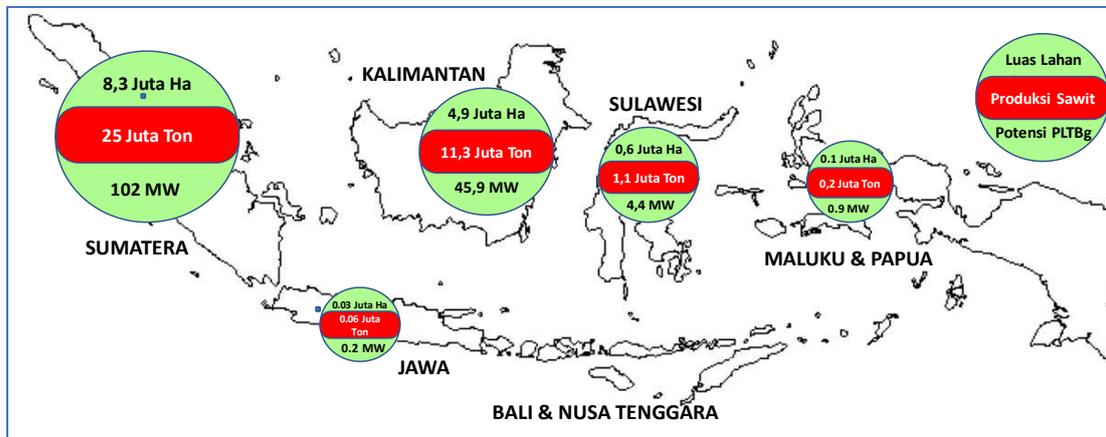
Jumlah pabrik kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2014 tercatat lebih dari 600 pabrik yang tersebar di berbagai wilayah. PKS Sei Pagar merupakan salah satu PKS di bawah kendali PTPN V Pekanbaru. Perkebunan Sei Pagar berlokasi di tiga desa, yaitu: Desa Hang Tuah, Desa Pantai Raja, dan Desa Parit Baru, Kecamatan Perhentian Raja, Kabupaten Kampar dengan luas areal konsensi 2947,2 Ha. Kapasitas terpasang PKS sebesar 30 ton tandan buah segar (TBS) per jam dengan potensi pengolahan kelapa sawit mencapai 225.000 ton TBS per tahun. PKS Sei Pagar mengolah TBS tersebut menjadi CPO dan menghasilkan limbah berupa tandan kosong sawit, cangkang, serat buah, dan POME¹⁵.

Berdasarkan data Kementerian Pertanian kapasitas total PKS di Indonesia mencapai 34.280 ton/jam yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai PLTBg dengan kapasitas 1.280 MW⁹⁾. Namun, berdasarkan Statistik Indonesia (2018)⁴⁾ ternyata masih banyak kapasitas pabrik yang menganggur dan produksi sawit total hanya sebesar 37,8 juta ton pada tahun 2017 atau sekitar 9,5 ton/jam. Data tersebut berdasarkan asumsi bahwa dalam satu tahun pabrik beroperasi selama 330 hari. Sesuai dengan metodologi perhitungan potensi PLTBg yang dibahas dalam Wibowo⁷⁾, Winrock⁹⁾, dan Arum¹⁴⁾, potensi PLTBg yang siap untuk dikembangkan sebesar 153,4 MW. Sebaran potensi tersebut per wilayah ditunjukkan pada Gambar 1.

dengan temperatur sekitar 50 - 60 °C. Pada temperatur termofilik, proses ini menghasilkan perpindahan massa yang lebih baik sehingga tingkat limbah organik lebih tinggi dari pada pada temperatur mesofilik. POME yang baru keluar dari PKS masih mempunyai temperatur yang lebih tinggi sehingga perlu ada proses pendinginan^{9,16)}.

Biodigester atau reaktor biogas yang sering digunakan dalam proses biometanasi pada umumnya terdiri dari dua jenis reaktor, yaitu:

- *Covered lagoon (CL)*, yang berupa kolam tertutup tanpa atau dilengkapi dengan peralatan pengadukan. Reaktor ini didesain untuk menangani limbah dengan kandungan padatan yang kurang dari 3% dan beroperasi pada temperatur mesofilik.
- *Continuous stirred tank reactor (CSTR)*,



Gambar 1. Luas Perkebunan, Produksi Sawit dan Potensi PLTBg dari POME^{4,9)}

Proses Produksi Biogas

Proses pencernaan anaerob atau disebut juga proses biometanasi dapat memproses POME yang merupakan limbah organik sehingga terurai menjadi biogas. Mikroba dalam proses biometanasi akan mendegradasi senyawa organik menjadi biometana dan karbon dioksida dalam kondisi tanpa oksigen. Dalam aplikasi teknis, proses ini dapat berlangsung pada dua rentang suhu, yaitu mesofilik dengan temperatur berkisar 37 - 43 °C atau termofilik

yang berupa silinder terbuat dari beton atau logam dengan rasio antara tinggi dan diameter yang relatif rendah. Reaktor ini perlu dilengkapi dengan peralatan pengadukan dan dapat beroperasi pada temperatur mesofilik atau termofilik.

CSTR mempunyai produktivitas biogas dan keandalan yang lebih tinggi dari pada CL sehingga dalam makalah ini CSTR dipilih sebagai opsi untuk pembangunan PLTBg di PKS Sei Pagar¹⁷⁾. Pengadukan dalam CSTR dapat dilakukan secara mekanik, hidrolik, maupun injeksi gas.

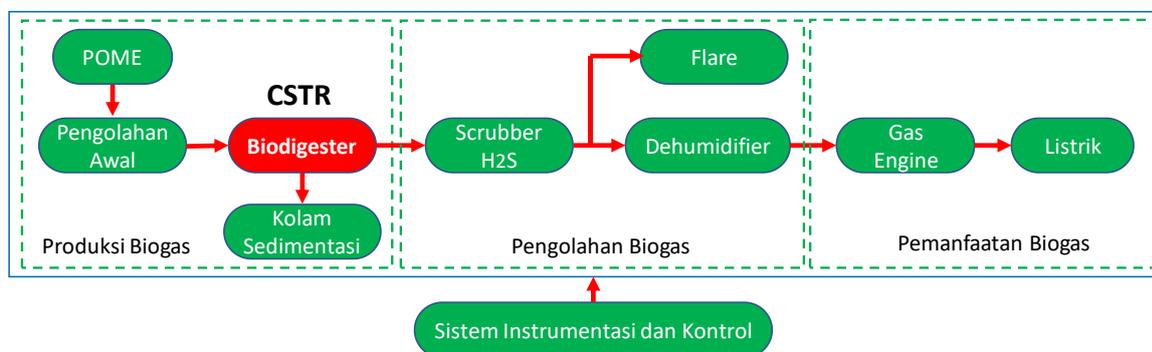
Secara ringkas diagram PLTBg berbasis POME dengan CSTR ditunjukkan pada Gambar 2. Keseluruhan sistem dibagi menjadi 3 bagian, yaitu sistem produksi biogas atau biodigester, pengolahan biogas, dan pemanfaatan biogas yang berupa *gas engine* untuk dikonversi ke listrik. PLTBg ini dilengkapi dengan sistem instrumentasi dan kontrol. Dalam sistem biodigester, bahan baku yang berasal dari POME diolah dalam kolam terbuka untuk dikondisikan parameteranya sesuai dengan kebutuhan biodigester. Ukuran digester ditentukan berdasarkan laju alir POME, beban COD (*chemical oxygen demand*), dan waktu retensi hidrolis (*hydraulic retention time*) supaya menghasilkan biogas yang optimal^{18,19,20}. COD merepresentasikan oksigen total yang diperlukan untuk mengoksidasi zat organik yang bersifat biologis maupun yang tidak bereaksi dengan

Kelebihan biogas tidak boleh dibuang langsung ke atmosfer karena mudah terbakar pada konsentrasi yang tinggi dan juga menimbulkan emisi GRK yang lebih tinggi (karena masih berupa CH₄).

Biogas yang sudah diolah dan dimurnikan akan menjadi bahan bakar untuk *gas engine*. *Gas engine* pada umumnya memerlukan biogas dengan kadar air dibawah 80% dan konsentrasi H₂S kurang dari 200 ppm. *Gas engine* akan membakar biogas dan menghasilkan energi mekanik untuk menggerakkan generator yang akan menghasilkan listrik untuk pengguna akhir.

Tarif Listrik

PLTBg akan menghasilkan listrik untuk keperluan PKS dan kelebihan tenaga listrik dapat dijual ke PLN. Permen ESDM No. 50/2017 mengatur pemanfaatan sumber



Gambar 2.
Diagram PLTBg POME dengan CSTR⁹⁾

karbon dioksida dan air. Keluaran dari biodigester berupa biogas yang akan diolah dan dimurnikan sebelum masuk ke *gas engine*. Limbah dari biodigester masuk ke dalam kolam sedimentasi yang bisa diproses lebih lanjut menjadi pupuk.

Konsentrasi H₂S dari biogas diturunkan menggunakan *scrubber* H₂S sesuai dengan spesifikasi *gas engine* yang digunakan. Hal ini dimaksudkan untuk mengoptimalkan operasi, dengan mencegah korosi sehingga bisa memperpanjang umur *gas engine*. *Dehumidifier* berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam biogas sebelum masuk ke *gas engine*. Sedangkan *flare* digunakan untuk membakar kelebihan gas sebagai persyaratan keamanan pengoperasian PLTBg.

energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik. PLN wajib membeli tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik yang memanfaatkan sumber energi terbarukan. Pemanfaatan sumber energi terbarukan harus mengacu pada Kebijakan Energi Nasional dan Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional²¹. Harga tertinggi pembelian listrik energi terbarukan ditunjukkan pada Tabel 1. Bila biaya pokok penyediaan (BPP) pembangkitan setempat di atas rata-rata BPP pembangkitan nasional maka harga pembelian tenaga listrik dari PLTBg paling tinggi sebesar 85% dari BPP pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat. Bila BPP setempat sama atau di bawah rata-rata BPP nasional maka harga pembelian tenaga listrik ditetapkan berdasarkan kesepakatan bersama.

Tabel 1.
Harga Tertinggi Pembelian
Listrik Energi Terbarukan²⁾

Pembangkit Listrik	BPP	BPP
	Setempat > BPP Nasional	Setempat ≤ BPP Nasional
PLTS Fotovoltaik, PLTB, PLTBm, PLTBg, dan PLT Laut	85% BPP Regional	Kesepakatan
PLTA, PLTSa, dan PLTP	100% BPP Regional	Kesepakatan

Harga pembelian listrik oleh PLN diatur dalam Kepmen ESDM No. 1772.K/20/MEM/2018 tentang besaran BPP pembangkitan PLN tahun 2017. Berdasarkan Kepmen tersebut BPP pembangkitan terendah sebesar 6,81 sen US\$/kWh atau 911 Rp/kWh (sebagian besar Jawa dan Bali) dan yang tertinggi sebesar 20 sen US\$/kWh atau 2.677 Rp/kWh (wilayah Indonesia timur dan terpencil) pada nilai tukar 13.385 Rp/US\$ (berdasarkan nilai tukar kurs tengah Bank Indonesia rata-rata tahun 2017). BPP pembangkitan PLN pada tahun 2017 per wilayah ditunjukkan pada Gambar 3.

Ketidakpastian dan Risiko

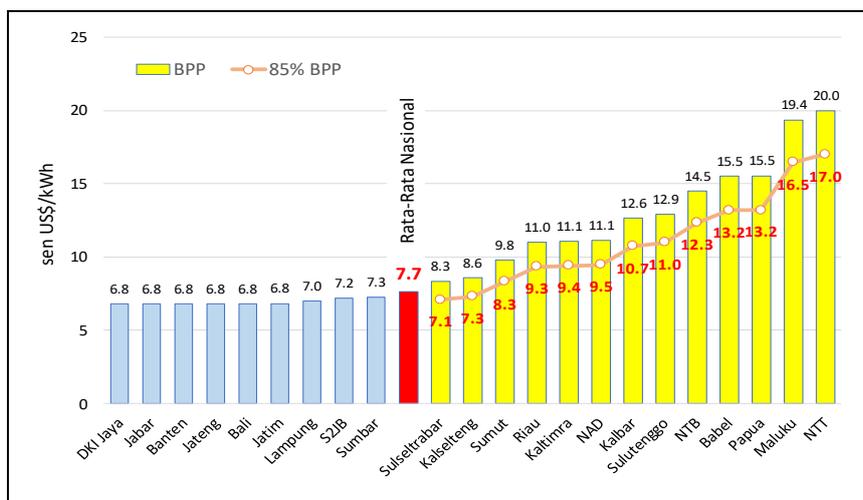
Investasi untuk jangka panjang selalu menghadapi ketidakpastian dan risiko yang mungkin muncul di masa yang akan datang. Parameter biaya investasi, nilai tukar, dan harga listrik sering kali berubah yang dapat

tiga parameter, yaitu harga jual listrik, nilai investasi barang modal, dan nilai COD dari limbah POME pada kisaran +5% dan -5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pabrik kelapa sawit di Sei Pagar mempunyai kapasitas pengolahan tandan buah segar sebesar 30 ton per jam. POME yang dihasilkan dari PKS tersebut cukup dapat diandalkan dari sisi kontinuitas pasokan. Kandungan organik dalam limbah POME atau nilai COD dari limbah tersebut adalah sebesar 42.685 mg/liter. Bahan baku POME diperoleh dengan harga Rp 100 per m³. Parameter bahan baku yang penting ditunjukkan pada Tabel 2.

Berdasarkan kapasitas PKS dan COD maka kapasitas PLTBg yang akan dibangun dapat ditentukan, yakni dibulatkan menjadi sebesar 700 kW. Perhitungan kapasitas dan produksi listrik PLTBg ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan Winrock⁹⁾ faktor ketersediaan (*availability factor*) yang menyatakan potensi penghentian operasi untuk pemeliharaan berkisar antara 90% hingga 98%. Faktor ketersediaan diasumsikan yang pesimis yakni sekitar 90%. PLTBg memproduksi listrik secara efektif selama 330 hari atau 7.920 jam setahun. Dalam masa pemeliharaan, *flare* digunakan untuk membakar biogas untuk mengurangi emisi GRK. Umur ekonomi proyek diperkirakan 20 tahun sejak proyek mulai



Gambar 3.
BPP Pembangkitan PLN Tahun 2017

mempengaruhi kelayakan ekonomi pembangunan PLTBg. Salah satu cara untuk mengevaluasi risiko tersebut adalah dengan melakukan analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas yang dilakukan dalam studi ini adalah dengan melakukan perubahan dari

beroperasi. Harga jual listrik diasumsi sebesar 1.249,5 Rp/kWh yang merupakan 85% dari BPP wilayah Riau pada tahun 2017 sesuai dengan Kepmen ESDM No. 1772 K/20/MEM/2018.

Tabel 2.
Parameter Bahan Baku

Keterangan	Satuan	Nilai
Kapasitas PKS	ton TBS/jam	30
Pasokan TBS	ton/tahun	180.000
Rata-rata harian TBS yang diproses	ton/hari	600
Jam kerja penggilangan	hari/tahun	300
Jam kerja rata-rata per hari	jam/hari	20
Produksi POME rata-rata	m ³ POME/ton TBS	0,6
Produksi POME rata-rata per hari	m ³ /hari	360
COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	mg/liter	42.685

Tabel 3.
Perhitungan Kapasitas dan Produksi Listrik PLTBg

Keterangan	Satuan	Nilai
Produksi biogas	m ³ biogas/tahun	2.633.940
	m ³ biogas/hari	8.780
	m ³ biogas/jam	366
Produksi metana (CH ₄)	m ³ CH ₄ /tahun	1.448.667
Produksi listrik (<i>gross</i>)	kWh/tahun	5.794.668
Jam operasi	jam/tahun	7.920
Kapasitas pembangkit (<i>max</i>)	kWe	732
Pemakaian sendiri (11%)	kWh/tahun	637.413
Produksi listrik (<i>nett</i>)	kWh/tahun	5.157.254

Biaya Investasi serta Biaya Operasi dan PerawatanTabel 4.
Biaya Investasi PLTBg

Item	Biaya (Rp)
Perijinan	990.000.000
Sistem Biodigester	17.207.677.245
a. Engineering design	292.198.500
b. Peralatan:	
<i>Biogas reactor</i>	3.964.583.250
<i>POME pre-treatment unit</i>	790.877.250
<i>Biogas scrubber</i>	1.783.603.500
<i>Biogas dehumidifier</i>	630.535.500
<i>Blower, flare, biogas holder</i>	1.852.580.250
<i>Instalasi, instrumentasi dan lainnya</i>	7.001.822.145
c. Commissioning	891.476.850
Pembangkit Listrik	8.125.758.300
a. Engineering design	162.331.950
b. Peralatan:	
<i>Gas engine</i>	5.270.393.250
<i>Instalasi, instrumentasi dan lainnya</i>	2.306.417,475
c. Commissioning	386.615.625
TOTAL	26.323.435.545

Pembangunan PLTBg direncanakan akan selesai dalam waktu 2 tahun. Secara garis besar perkiraan biaya investasi ditunjukkan pada Tabel 4. Pendanaan investasi diasumsikan sebesar 70% merupakan pinjaman (kredit) dari bank dan sisanya sebesar 30% akan didanai dengan modal sendiri (*equity*). Tingkat bunga kredit investasi dalam studi ini diasumsi sebesar 10% per tahun dan lama pinjaman dari bank 10 tahun.

Biaya operasi dan perawatan merupakan biaya yang dikeluarkan selama PLTBg beroperasi yang terdiri atas biaya tetap dan biaya variabel. Biaya operasi dan perawatan total selama satu tahun mencapai Rp 2.295.698.710, yang terbagi hampir merata untuk sistem biodigester dan pembangkit listrik. Rangkuman biaya operasi dan perawatan PLTBg ditunjukkan pada Tabel 5

Tabel 5.
Biaya Operasi dan Perawatan PLTBg

Keterangan	Biaya (Rp)
Sistem Biodigester	1.286.540.066
a. Biaya tetap:	
<i>Gaji dan upah</i>	468.000.000
<i>Biaya administrasi</i>	143.400.000
<i>Perawatan tahunan</i>	480.720.057
<i>Sewa tanah</i>	37.500.000
<i>Asuransi</i>	80.120.009
b. Biaya variabel:	
<i>Biaya pembelian POME</i>	10.800.000
<i>Biaya utilitas</i>	66.000.000
Pembangkit Listrik	1.009.158.644
a. Biaya tetap:	
<i>Gaji dan upah</i>	351.000.000
<i>Biaya administrasi</i>	113.550.000
<i>Perawatan tahunan</i>	37.884.054
<i>Major overhaul</i>	378.840.536
<i>Asuransi</i>	37.884.054
b. Biaya variabel:	
<i>Biaya utilitas</i>	90.000.000
TOTAL	2.295.698.710

Analisis Kelayakan

Produksi biometana setiap tahun diperkirakan sebesar 1.448.667 m³ dan akan menghasilkan listrik sebesar 5.794.668 kWh (*gross*). Kebutuhan listrik untuk pemakaian sendiri sebesar 11% sehingga produksi listrik tahunan sebesar 5.157.254 kWh (*nett*). Produksi listrik ini dijual ke PLN dengan harga jual pada tahun pertama (2019) sebesar 1.250 Rp/kWh sehingga potensi pendapatannya sebesar Rp 6.443.988.873. Harga jual listrik diasumsikan ada kenaikan sebesar 1,5% per tahun.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa PLTBg layak untuk dibangun dengan IRR sebesar 11,44% yang lebih tinggi dari pada

weighted average cost of capital (WACC) yang sebesar 10,86%. Jangka waktu pengembalian modal (PBP) sebesar 7 tahun 11 bulan dengan NPV Rp 1.103.209.098 dan *profitability indeks* (PI) sebesar 2,64. Secara ringkas hasil analisis finansial ditunjukkan pada Tabel 6.

Analisis Sensitivitas

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa kelayakan pembangunan PLTBg cukup sensitif terhadap perubahan parameter harga jual listrik, biaya investasi dan COD (Lihat Tabel 7). Harga jual listrik

yang berkurang lebih dari 2,5% akan menyebabkan pembangunan tidak layak. Sedangkan kenaikan biaya investasi lebih dari 2,5% juga menyebabkan tidak layak begitu juga bila nilai COD turun lebih dari 2,5%. Nilai COD yang lebih tinggi akan menghasilkan produksi biogas lebih besar, tetapi tidak berarti produksi listriknya lebih besar selama pembangkitnya masih sama kapasitasnya. Produksi biogas yang berlebihan akan dibuang melalui gas *flare*.

Tabel 7.
Analisis Finansial

Tahun	Akumulasi Investasi (Rp)	Akumulasi Pendapatan (Rp)	Neraca Keuangan (Rp)
-2	16.213.513.530	0	-16.213.513.530
-1	28.570.609.926	0	-28.570.609.926
1	28.570.609.926	3.506.147.205	-25.064.462.721
2	28.570.609.926	7.038.788.612	-21.531.821.314
3	28.570.609.926	10.597.514.671	-17.973.095.255
4	28.570.609.926	14.181.877.411	-14.388.732.515
5	28.570.609.926	17.791.388.572	-10.779.221.354
6	28.570.609.926	21.425.517.657	-7.145.092.269
7	28.570.609.926	25.083.689.903	-3.486.920.023
8	28.570.609.926	28.765.284.163	194.674.238
9	28.570.609.926	32.469.630.704	3.899.020.779
10	28.570.609.926	36.196.008.902	7.625.398.977
15	28.570.609.926	54.555.930.372	25.985.320.446
20	28.570.609.926	74.504.833.023	45.934.223.097
Dasar Penilaian			NPV & IRR
<i>Weighted Average Cost of Capital</i> (WACC)			10,86%
<i>Net Present Value</i> (NPV) (Rp)			1.103.209.098
<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)			11,44%
<i>Payback Period</i> (PBP)			7 tahun 11 bulan
<i>Profitability Indeks</i> (PI)			2,64
Kesimpulan			LAYAK

Tabel 6.
Analisis Sensitivitas

	Harga Jual Listrik				
	-5%	-2,5%	Base	+2,5%	+5%
IRR	10,31%	10,88%	11,44%	11,99%	12,53%
NPV @10,86% (Rp)	(1.036.548.457)	33.330.320	1.103.209.098	2.173.087.876	3.242.966.653
Payback Period (tahun)	8,54	8,23	7,95	7,68	7,43
	Biaya Investasi				
	-5%	-2,5%	Base	+2,5%	+5%
IRR	12,33%	11,88%	11,44%	11,01%	10,60%
NPV @10,86% (Rp)	2.708.942.804	1.906.075.951	1.103.209.098	300.342.245	(502.524.609)
Payback Period (tahun)	7,52	7,73	7,95	8,16	8,38
	COD				
	-5%	-2,5%	Base	+2,5%	+5%
IRR	10,31%	10,88%	11,44%	-	-
NPV @10,86% (Rp)	(1.036.550.947)	33.333.225	1.103.209.098	-	-
Payback Period (tahun)	8,54	8,23	7,95	-	-

SIMPULAN

Pemanfaatan POME dari pabrik kelapa sawit menjadi energi listrik dengan menggunakan *biodigester* CSTR secara keekonomian cukup layak untuk dilaksanakan. Indikator kelayakan finansial ditunjukkan dengan nilai IRR sebesar 11,44% yang lebih tinggi dari pada WACC yang sebesar 10,86%. Sedangkan waktu pengembalian modal selama 7 tahun 11 bulan dengan NPV sebesar Rp 1.103.209.098 serta nilai PI sebesar 2,64. PI hasil perhitungan ini menunjukkan lebih besar dari 1 sehingga dapat disimpulkan bahwa pembangunan PLTBg berpotensi menguntungkan.

Pembiayaan PLTBg perlu mendapatkan dukungan dari dana hibah internasional dalam kerangka pengurangan emisi GRK ataupun melalui kredit dari perbankan nasional. Hal ini terkait dengan perlu adanya pinjaman dengan bunga yang rendah. Kendala lain adalah mengenai penetapan harga pembelian listrik dari PLN berdasarkan BPP pembangkitan. Perubahan harga BPP di kemudian hari bisa sangat mempengaruhi kelayakan sehingga perlu adanya kepastian harga jual listrik selama umur operasi PLTBg.

Pengoperasian PLTBg berbasis POME dapat menimbulkan pencemaran udara, air dan suara. Polusi udara seperti bau, polutan dan debu harus diantisipasi dengan pemasangan peralatan untuk melindungi lingkungan dari efek berbahaya tersebut. Polusi air dapat terjadi karena air limbah yang mengkontaminasi ke air permukaan atau air tanah. Polusi ini dapat dicegah dengan menggunakan sistem drainase yang terpisah. Sedangkan polusi suara terjadi karena ada kebisingan dari *gas engine* untuk PLTBg. Frekuensi dan intensitas kebisingan yang dihasilkan sebagian besar tergantung pada tata letak PLTBg secara keseluruhan. Oleh karena itu dalam pembangunan PLTBg harus mempertimbangkan adanya peralatan pencegah polusi udara serta memperhatikan desain sistem drainase dan tata letak PLTBg yang dapat mengurangi dampak lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi melalui program Insinas Riset Pratama Kemitraan dengan mitra PTPN V, Pekanbaru.

DAFTAR PUSTAKA

1. KESDM, *Peluang Investasi Sektor ESDM*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2011.
2. DGNRE&EC, *Investment Opportunity of Renewable Power Generation*, Directorate General of New Renewable Energy and Energy Conservation, Jakarta, 2017.
3. Ditjen EBTKE, *Statistik EBTKE 2016*, Kementerian ESDM, 2016.
4. BPS, *Statistik Indonesia 2018*, Badan Pusat Statistik, 2018.
5. Iskandar, M.J.; Baharum, A.; Anuar, F.H.; Othaman, R., *Palm oil industry in South East Asia and the effluent treatment technology – A review*, Environmental Technology & Innovation, No. 9, Elsevier, 2018.
6. Ditjen Perkebunan, *Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017: Komoditas Kelapa Sawit*, Kementerian Pertanian, 2016.
7. Wibowo, A., *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Biogas Berbasis Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit: Studi Kasus PKS PT Intan Sejati Andalan Riau*, Jurnal Teknik, Vol. 5, No. 2, Universitas Janabadra, 2015.
8. IPCC, *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2006.
9. Winrock, *Konversi POME Menjadi Biogas: Pengembangan Proyek di Indonesia*, Winrock International, 2015.
10. BKF, *Analisis Biaya dan Manfaat Pembiayaan Investasi Limbah Menjadi Energi Melalui Kredit Program*, Badan Kebijakan Fiskal, 2014.
11. Choong, Y.Y.; Chou, K.W.; Norli, I., *Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion: A critical review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 82, Elsevier, 2018.
12. USAID, *Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas*, USAID bekerja sama dengan OJK dan UI, 2016.
13. Park, C.S., *Fundamentals of Engineering Economics*, Pearson Education, Inc., 2004.
14. Arum, A., *Seri Panduan Investasi EBT Indonesia: Bioenergi (PLTBg – PLTBm)*, Lintas EBTKE, KESDM, lintas.ebtke.esdm.go.id, 2018.
15. PTPN V, *Laporan Tahunan 2016*, PT Perkebunan Nusantara V Pekanbaru, 2016.

16. Hosseini, S.E.; Wahid, M.A., *Feasibility study of biogas production and utilization as a source of renewable energy in Malaysia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 19, Elsevier, 2013.
17. Ohimain, E.I.; Izah, S.C., *A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 70, Elsevier, 2017.
18. Saragih, G.M. dan Hasan, H., *Estimasi Potensi Biogas dari Palm Oil Mill Effluent (POME) Pabrik Kelapa Sawit di Provinsi Jambi*, Jurnal Civronlit, Vol. 2, No. 2, Universitas Batanghari, 2017.
19. Garritano, A.N.; Faber, M.O.; De Sa, L.R.V.; Ferreira-Leitao, V.S., *Palm oil mill effluent (POME) as raw material for biohydrogen and methane production via dark fermentation*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 92, Elsevier, 2018
20. JIE, *Buku Panduan Biomassa Asia: Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa*, The Japan Institute of Energy, 2008.
21. Indrawan, N.; Thapaa, S.; Wijaya, M.E.; Ridwan, M.; Park, D., *The biogas development in the Indonesian power generation sector*, Environmental Development, No. 25, Elsevier, 2018.

(halaman ini sengaja dikosongkan)