

Analisis Teknis-Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Solar PV/Biogas off Grid System

Susi Afriani¹, R. Reski Eka Putra², Nanda Putri Miefthawati³, Marhama Jelita⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293

Email: ¹susi.afriani@uin-suska.ac.id, ²r.reskiekaputra07@gmail.com, ³nandamiefthawati@uin-suska.ac.id,
⁴marhama.jelita@uin-suska.ac.id

ABSTRAK

Keandalan sistem tenaga listrik dan upaya sertifikasi industri berkelanjutan pada industri kelapa sawit ditawarkan dengan pemanfaatan potensi sumber energi terbarukan sebagai pembangkit listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aspek teknis dan keekonomian pembangkit listrik tenaga Solar PV-Biogas di PT.TBS. Adapun metode yang digunakan yaitu *hybrid parallel* dengan sistem jaringan *off grid*. Perhitungan manual menunjukkan sistem pembangkit yang optimal terdiri dari digester anaerob tipe *cover lagoon* kapasitas 28.934,81 m³, generator biogas 1.560 kW, PV array 4.040,22 kWp, *bidirectional* inverter 2000 kW, dan 10.125 unit baterai kapasitas 1.547 Ah. Kemudian dilakukan evaluasi sistem menggunakan *software* HOMER Pro dengan umur proyek 20 tahun, dan diperoleh total produksi energi listrik selama umur proyek mampu menyuplai beban secara kontinu dengan rata-rata kelebihan energi listrik per tahun mencapai 25,23% dari total produksi. Pada analisis ekonomi dibutuhkan investasi awal sebesar Rp.233.553.169.589,30, dengan total emisi CO₂ POME 44.073,75 ton/tahun, maka didapat biaya *Certified Emission Reduction* sebesar Rp.6.611.062.500/tahun. Perhitungan kelayakan ekonomi menghasilkan nilai *Net Present Value* sebesar Rp.136.266.578.753, *Payback Period* 13,8 tahun, dan *Internal Rate of Return* sebesar 9,41%. Berdasarkan analisis teknis dan ekonomi hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem pembangkit *hybrid* ini dapat dikembangkan untuk kajian lebih detail jika ingin diimplementasikan.

Kata Kunci: HOMER Pro, Off-grid, PT. TBS, Solar PV-Biogas, Teknis-Ekonomi.

ABSTRACT

Reliability of the electric power system and fulfil the certification of sustainable industries in the palm oil industry are offered by utilizing the potential of renewable energy sources as power plants. This research is aimed to analyze the technical and economic aspects of the Solar PV-Biogas power plant at PT. TBS. The method used in this research is hybrid parallel with the off grid network system. In manual calculations showed an optimal generating system consisting of an anaerobic digester with a lagoon capacity of 28,934.81 m³, 1,560 kW biogas generator, 4,040.22 kWp PV array, 2000 kW bidirectional inverter, and 10,125 units of batteries with capacity of 1,547Ah. Then the system is evaluated using HOMER Pro software with project lifetime of 20 years, and the total electricity production obtained during the life of the project is able to supply loads continuously with an average excess electricity about 25.23%/years of total production. Meanwhile, in the economic analysis of hybrid power plants require an initial investment (NPC) of Rp.233,553,169,589.30, with total CO₂ emissions of POME 44,073.75 tons/year, then the cost of Certified Emission Reduction is obtained about Rp.6,611,062,500/year. The calculation of economic feasibility results in a Net Present Value of Rp.136.266.578.753, Payback Period of 13,8 years, and an Internal Rate of Return of 9,41%. Based on the result of techno-economic analysis in the research, it can be concluded that this hybrid generating system has the potential to be developed for study that is more detailed if it is to be implemented.

Keywords: HOMER Pro, Off-grid, PT. TBS, Solar PV/Biogas, Techno-economic.

Pendahuluan

Tercatat pada *Outlook Energi Indonesia 2019*, kebutuhan energi listrik pada tahun 2019 hingga 2050 diproyeksikan meningkat hingga 9 kali lipat dari kebutuhan listrik tahun 2018 sebesar 254,6TWh. Selain itu, selama 31 tahun (2019-2050) ke depan juga disertai dengan pergeseran dominansi

kebutuhan listrik, dari sektor rumah tangga ke sektor industri (industri pertanian, kertas, pupuk, baja, dan lainnya)[1]. Sektor industri pertanian adalah salah satu sektor penyumbang devisa terbesar negara, khususnya ekspor minyak kelapa sawit dan produk turunannya[2]. Pada umumnya dalam memenuhi kebutuhan listrik sektor industri, seperti pada pabrik kelapa sawit (PKS) masih menggunakan generator

diesel berbahan bakar fosil baik sebagai *start-up* (saat pabrik mulai operasi), ataupun sebagai *back up* (ketika defisit listrik) yang turut menyumbang peningkatan produksi emisi di PKS[3].

Proses produksi CPO (*Crude Palm Oil*) pada PKS menghasilkan limbah cair atau POME (*Palm Oil Mill Effluent*) yang umumnya bersifat asam (pH 3,3-4,6), kental, berwarna kecokelatan dengan kandungan padatan, minyak dan lemak, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang tinggi. Sehingga perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum limbah di buang ke lingkungan[3]. Selain upaya pengelolaan POME, pihak PKS juga berupaya memenuhi sertifikasi *Indonesian Sustainable Palm Oil* (ISPO) dan *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO) yang memiliki kesamaan tujuan salah satunya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari perubahan fungsi lahan. Manfaat dari sertifikasi ini untuk PKS diantaranya adalah pertambahan jumlah produksi CPO, kualitas mutu CPO lebih unggul, meningkatnya harga jual CPO, serta tingkat penjualan dan jangkauan pasar CPO yang lebih luas[3].

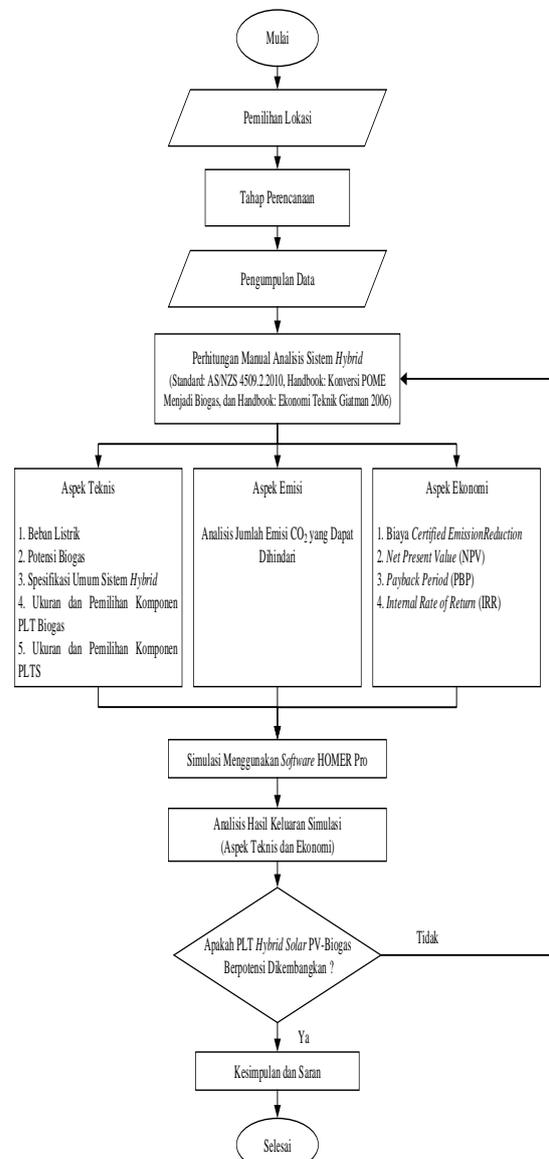
Sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* dari sumber EBT (Energi Baru Terbarukan) merupakan salah satu bidang penelitian yang banyak diteliti. Pembangkit listrik tenaga *hybrid* EBT merupakan penggabungan dari beberapa pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan. Upaya *hybrid* dilakukan guna mengatasi keterbatasan dan mahalnya energi terbarukan sebagai pembangkit listrik[4]. Berdasarkan studi literatur, penelitian sebelumnya fokus terhadap analisis potensi energi listrik dari limbah cair pabrik kelapa sawit (POME) dan studi kelayakan ekonomi pembangkit listrik tenaga Biogas dengan digester jenis CSTR[5][6]. Penelitian sebelumnya mengenai analisis teknis dan ekonomi pembangkit listrik *hybrid Solar PV-Biogas* hanya dalam skala kecil dan memanfaatkan Biogas dari kotoran hewan[7]. Sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* merupakan solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah yang belum terhubung listrik PLN[8]. Sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid Solar PV-Biogas* memiliki kualitas layanan dan jaminan pasokan listrik lebih baik dibandingkan hanya *Solar PV* saja[9]. Pada penelitian terdahulu, *tools* simulasi yang dominan adalah menggunakan HOMER dengan memilih konfigurasi sistem yang optimal berdasarkan hasil optimasi dari banyak skenario yang dibuat[7][8].

Pada paper ini, penulis melakukan modifikasi dan tindak lanjut dari beberapa penelitian yang telah dilakukan diatas. Penelitian terkait masih belum memakai suatu standar untuk perencanaan suatu pembangkit listrik tenaga *hybrid Solar PV/Biogas*. Pada penelitian ini menganalisis aspek teknis dan ekonomi satu sistem yang optimal dari pembangkit listrik tenaga *hybrid Solar PV/Biogas* (POME) *off-grid* konfigurasi paralel yang sesuai dengan standar AS/NZS 4509.2.2010 *stand-alone power system part*

2: *system design*, dan *handbook* Konversi POME Menjadi Biogas. Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan biaya *certified emission reduction* dari pengurangan emisi oleh pembangkit listrik tenaga Biogas dan substitusi generator diesel, yang belum dilakukan pada penelitian terkait. Pada penelitian ini juga menggunakan HOMER untuk simulasi sistem yang direncanakan. Studi kasus penelitian yaitu PT. TBS yang terletak di Provinsi Riau. Dimana PKS ini belum memanfaatkan POME nya dan sedang berupaya memenuhi sertifikasi industri/perkebunan berkelanjutan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menganalisis kelayakan aspek teknis dan ekonomi pembangkit listrik *Solar PV/Biogas* POME dengan konfigurasi *hybrid* paralel sistem jaringan *off grid*.



Gambar 1. Diagram alur tahapan penelitian

Aspek Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Berikut komponen-komponen utama dari suatu fasilitas komersial konversi POME menjadi Biogas[3]:

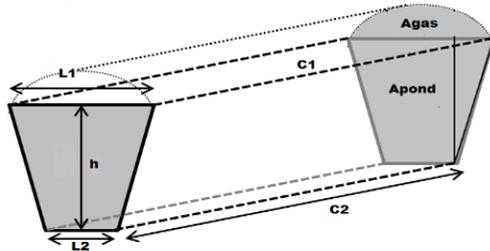
1. Digester Cover Lagoon

Covered lagoon, atau biasa disebut kolam tertutup, pada dasarnya merupakan kolam yang dilengkapi dengan membran penutup yang kuat untuk menyimpan Biogas. Metode ini memerlukan waktu retensi hidrolis(HRT) antara 20-90 hari dan membutuhkan area yang besar. Sehingga dapat ditentukan ukuran volume kolam penampung lumpur (V_{pond}) dengan persamaan berikut[3]:

$$V_{pond} (m^3) = HRT \text{ (hari)} \times \text{Aliran POME harian} \left(\frac{m^3}{\text{hari}} \right) \quad (1)$$

$$\text{Volume Digester} (m^3) = V_{pond} (m^3) \div 80\% \quad (2)$$

Untuk mendesain bagian *lagoon* pada digester, dapat dilihat pada gambar dimensi geometris kolam digester dibawah ini:



Gambar 2. Dimensi geometrik digester *covered lagoon*[10]

Berdasarkan gambar dimensi geometrik *lagoon* diatas, berlaku ketentuan bentuk geometrik sisi-sisi digester sehingga dapat dihitung luas total geomembran HDPE yang dibutuhkan guna memaksimalkan *methane capture* dengan persamaan 3[11], 4[12] dan 5[12] sebagai berikut:

$$A_{pond} (m^2) = \left(\frac{1}{2} \times \frac{L1+L2}{2} \times h \times 2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times \frac{C1+C2}{2} \times h \times 2 \right) + (C2 \times L2) \quad (3)$$

$$A_{gas} (m^2) = \pi \frac{L1}{2} \left(\frac{L1}{2} + C1 \right) \quad (4)$$

$$A_{Total} (m^2) = A_{pond} (m^2) + A_{gas} (m^2) \quad (5)$$

dengan A_{Total} : Luas seluruh permukaan digester (m^2); A_{pond} : Luas permukaan *lagoon* (m^2); A_{gas} : Luas permukaan *cover* (m^2); $L1$: Lebar *lagoon* bagian atas (m); $L2$: Lebar *lagoon* bagian bawah (m); $C1$: Panjang *lagoon* bagian atas (m); $C2$: Panjang *lagoon* bagian bawah (m); h : Tinggi *lagoon* (m)

2. Pemurnian Biogas (Scrubber)

Biogas (CH_4) yang dihasilkan dari tingkat kemurnian ini dihitung dengan persamaan 6[3]:

$$\text{Prod. Biogas Murni} = 95\% \times \text{Prod. Biogas} \quad (6)$$

3. Gas engine

Teknologi konversi energi listrik dari Biogas yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *gas engine*. Alasan menggunakan teknologi tersebut

adalah cukup tersedia di pasaran, memiliki emisi lebih kecil dibandingkan teknologi boiler, dan umum digunakan untuk konversi Biogas menjadi energi listrik[3]. Kapasitas *gas engine* dihitung dengan persamaan 7 dan 8[3]:

$$\text{Kapasitas pembangkitan (MW)} = \frac{\text{Produksi } CH_4 \times CH_{4, ev} \times \text{Geneff}}{24 \times 60 \times 60} \quad (7)$$

$$\text{Kapasitas energi harian} \left(\frac{MWh}{\text{hari}} \right) = \text{kapasitas pembangkitan} \times \text{waktu operasi} \quad (8)$$

Perhitungan potensi pembangkitan energi listrik dari Biogas dilakukan dengan menggunakan beberapa persamaan berikut[3]:

$$\text{Bahan baku harian} \left(\frac{\text{tonTBS}}{\text{hari}} \right) = \frac{\text{TBS olah tahunan}}{\text{Hari operasi per tahun}} \quad (9)$$

$$\text{Aliran limbah cair harian} \left(\frac{m^3}{\text{hari}} \right) = \text{Bahan baku harian} \times \text{rasio POME akanTBS} \quad (10)$$

$$\text{COD loading} \left(\frac{kg \text{ COD}}{\text{hari}} \right) = \text{COD} \times \text{Aliran limbah cair harian} \times \frac{kg}{1.000.000 \text{ mg}} \times \frac{1.000 \text{ L}}{m^3} \quad (11)$$

$$\text{Produksi } CH_4 \left(\frac{m^3 CH_4}{\text{hari}} \right) = \text{COD loading} \times \text{COD}_{eff} \times \frac{CH_4}{COD} \quad (12)$$

Aspek Teknis Solar PV

Berikut perhitungan kapasitas komponen sistem *Solar PV* sesuai dengan persamaan-persamaan yang terdapat pada Australian/New Zealand *Standard*TM AS/NZS 4509.2:2010 tentang *stand-alone power system part 2: system design*[13]:

1. PV Array

a. Oversupply Co-Efficient (f_o)

Dalam penelitian ini digunakan nilai koefisien minimal yaitu sebesar 1,3[14].

b. Nominal efisiensi baterai (η_{bat})

Dalam penelitian ini menggunakan baterai jenis *lead acid* yang memiliki efisiensi 90%[13].

c. Pemilihan modul solar PV

Dalam penelitian ini digunakan modul PV jenis *polycrystalline*.

d. Irradiation on Tilted Plane (H_{tilt})

Pada penelitian ini radiasi rata-rata tahunan yaitu sebesar 4,7 kWh/m²/hari[14].

e. Design Load Ah

Design load Ah adalah kebutuhan energi listrik dalam satuan *Ampere-hour* (Ah).

$$\text{Design load Ah} = \frac{E_{\text{tot}}}{V_{\text{dc}}} \quad (13)$$

f. *Required Array Output (Ah)*

Nominal daya yang harus di suplai oleh *photovoltaic array*.

$$\text{Required array output (Ah)} = \frac{\text{Design load Ah}}{\eta_{\text{bat}}} \quad (14)$$

g. *Daily Charge Output Per Module (Ah)*

Energi yang di hasilkan satu modul per hari.

$$\text{Daily charge output per module (Ah)} = (1 - \text{Toleransi pabrik}) \times I_{T,V} \times f_{\text{dirt}} \times H_{\text{tilt}} \quad (15)$$

h. *Number of parallel strings required (N_p)*

Jumlah modul *photovoltaic* yang dihubungkan secara paralel.

$$N_p = \frac{\text{Required array output} \times f_o}{\text{Daily charge output per module}} \quad (16)$$

i. *Number Of Series Modules Per String (N_s)*

Jumlah modul *photovoltaic* yang di hubungkan secara seri.

$$N_s = \frac{V_{\text{dc}}}{V_{\text{oc}}} \quad (17)$$

j. *Total Number Of Modules In Array (N)*

Total keseluruhan modul *PV* yang di gunakan.

$$N = N_p \times N_s \quad (18)$$

k. *Kapasitas Total PV Array (P_{PV array})*

Kapasitas daya dari *PV array* dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{\text{PV array}} = \text{jumlah PV} \times \text{daya per modul PV (Wp)} \quad (19)$$

2. *Baterai*

a. *Design load Ah for battery*

Kebutuhan energi listrik yang menjadi referensi dalam menentukan kapasitas baterai.

$$\text{Design load Ah baterai} = \frac{E_{\text{tot}}}{V_{\text{dc}}} \quad (20)$$

b. *Target hari otonomi (autonomy) (T_{aut})*

Dalam penelitian ini target waktu otonomi yang digunakan selama 2 hari.

c. *Maximum depth of discharge (DoD_{max})*

Maximum depth of discharge dalam penelitian ini sebesar 80%.

d. *Nominal battery discharge rate (C_x)*

Dalam penelitian ini menggunakan kapasitas baterai pada *discharge rate* 20 jam (C₂₀).

e. *Faktor koreksi temperatur*

Faktor koreksi temperatur baterai dengan *discharge rate* 20 jam (C₂₀) adalah sebesar 98%.

f. *Kapasitas baterai yang diperlukan (Ah)*.

$$\text{Ah} = \frac{\text{Design load Ah} \times T_{\text{aut}}}{\text{DoD}_{\text{max}} \times \text{Faktor koreksi temperatur}} \quad (21)$$

g. *Pemilihan baterai*

Pada penelitian ini menggunakan baterai merek Trojan pabrikan Amerika.

h. *Jumlah baterai di hubungkan seri*

$$\text{Baterai terhubung seri} = \frac{V_{\text{dc (inverter)}}}{V_{\text{dc (baterai)}}} \quad (22)$$

i. *Jumlah baterai terhubung paralel*

Baterai terhubung paralel

$$= \frac{\text{kapasitas baterai di perlukan (Ah)}}{\text{kapasitas baterai pada } C_x \text{ (Ah)}} \quad (23)$$

j. *Total jumlah baterai*

$$\text{Total} = \text{Baterai seri} \times \text{Baterai paralel} \quad (24)$$

3. *Inverter Bidirectional*

Dalam penentuan kapasitas inverter yang digunakan, dihitung dengan persamaan berikut[14]:

$$\begin{aligned} &\text{Kapasitas Inverter (kW)} \\ &= \text{Beban puncak (kW)} \times 1,1 \end{aligned} \quad (25)$$

Pengurangan Emisi CO₂

Mengestimasi pengurangan emisi CO₂ dilaksanakan dengan dua parameter yaitu: substitusi generator diesel berbahan bakar solar/gasoil, dan pembakaran gas metana. Dalam menghitung pengurangan emisi kedua parameter, menggunakan beberapa persamaan berikut[3]:

$$\begin{aligned} &\text{Energi listrik/tahun} = \text{Kapasitas pembangkit (MW)} \\ &\quad \times \text{Jam operasi per tahun (h)} \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} &\text{Emisi CO}_2 = \text{Energi listrik per tahun (MWh)} \\ &\quad \times \text{emission factor} \left(\frac{\text{ton CO}_2}{\text{MWh}} \right) \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} &\text{Jumlah biogas} = \text{Jumlah gas metana} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \\ &\quad \times \text{massa jenis gas metana} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} &\text{Emisi CO}_2 \left(\frac{\text{ton CO}_2\text{-eq}}{\text{tahun}} \right) \\ &= \left(\text{Jumlah gas metana} \left(\frac{\text{kg CH}_4}{\text{hari}} \right) \right) \times 10^{-3} \\ &\quad \times \text{GWPI CH}_4 \left(\frac{\text{ton CO}_2\text{-eq}}{\text{kg CH}_4} \right) \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} &\text{Total Emisi CO}_2 \left(\frac{\text{ton CO}_2}{\text{tahun}} \right) \\ &= \text{Emisi}_{\text{CO}_2, \text{ Generator Diesel}} + \text{Emisi}_{\text{CO}_2, \text{ CH}_4} \end{aligned} \quad (30)$$

Aspek Ekonomi

1. *Net Present Value (NPV)*

Metode yang digunakan untuk menghitung nilai bersih pada waktu saat ini. Metode perhitungan ini terdiri dari *cash flow benefit* (CFB) dan *cash flow cost* (CFC)[15]:

$$\text{NPV (Rp)} = \sum \text{CFB (Rp)} - \text{CFC (Rp)} \quad (31)$$

Jika NPV > 0 proyek layak untuk dilaksanakan, NPV < 0 berarti proyek tidak layak, dan jika NPV = 0 berarti usaha yang dijalankan impas[15].

2. *Payback Period (PBP)*

Lama waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian modal/investasi awal proyek[15]:

$$\text{PBP (tahun)} = \frac{\text{Inv}_{\text{cost}}}{\text{CFB}_{\text{Average}}} \times 1 \text{ tahun} \quad (32)$$

dengan Inv_{cost}: Biaya investasi awal (Rp); CFB_{Average}: Rata-rata pendapatan per tahun (Rp).

3. *Internal Rate of Return (IRR)*

Metode perhitungan investasi dengan menghitung tingkat bunga yang menyamakan nilai sekarang investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas bersih di waktu mendatang[15]:

$$IRR(\%)=i_1+\left\{\left(\frac{NPV_1}{NPV_1-NPV_2}\right)\times(i_2-i_1)\right\} \quad (33)$$

dengan NPV₁: NPV dengan tingkat bunga rendah (Rp); NPV₂: NPV dengan tingkat bunga tinggi (Rp); i₁:Tingkat bunga pertama (%); i₂: Tingkat bunga kedua (%).

Manfaat dari penghematan Gasoil[3]:

$$\text{Penghematan gasoil} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{tahun}}\right) = \text{Penghematan gasoil} \left(\frac{\text{L}}{\text{tahun}}\right) \times \text{harga gasoil} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{L}}\right) \quad (34)$$

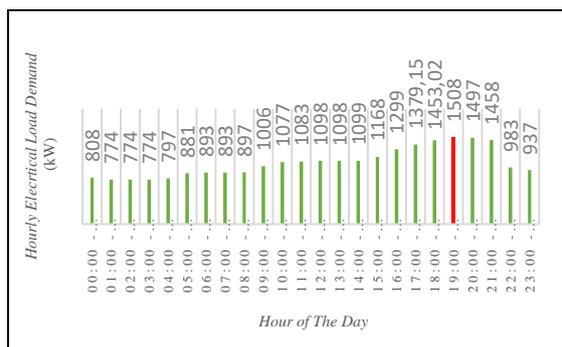
Manfaat dari penjualan CER (*Certified Emission Reduction*)[3]:

$$\begin{aligned} \text{Biaya CER} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{tahun}}\right) &= (\text{Emisi}_{\text{CO}_2} \text{ POME} \left(\frac{\text{ton CO}_2}{\text{tahun}}\right) \\ &\times \text{Harga Certificate CO}_2 \left(\frac{\text{USD}}{\text{ton CO}_2}\right) \\ &\times \text{Nilai Tukar Uang} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{USD}}\right) \end{aligned} \quad (35)$$

Hasil dan Pembahasan

Aspek Teknis

Pabrik kelapa sawit TBS mempunyai kapasitas pengolahan tandan buah segar sebesar 60 ton per jam dengan estimasi konsumsi energi listrik sebesar 25.634,17 kWh/hari. Total konsumsi energi listrik harian ini ditabulasi per setiap jamnya ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hasil estimasi konsumsi listrik

Berdasarkan kebutuhan energi listrik, potensi biogas sebesar 9.226,75 m³CH₄/hari, dan potensi energi surya sebesar 4,7 kWh/m²/hari pada PT TBS, maka kapasitas pembangkit listrik tenaga *hybrid Solar PV-Biogas* yang akan dibangun dapat ditentukan. Perhitungan kapasitas komponen

masing-masing pembangkit ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil perhitungan teknis PLT *solar PV/Biogas*

Uraian	Simbol	Hasil
Pembangkit Listrik Tenaga Biogas POME		
Digester <i>covered lagoon</i>	V _{digester}	28.934,81 m ³
Luas geo membran HDPE	A _{Total}	15.307 m ²
<i>water scrubber</i>		600 m ³ /jam
Dehumidifier		510 m ³ /jam
Flare		600 m ³ /jam
Gas engine	P _{electrical}	2.000 kW
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (<i>Solar PV</i>)		
PV <i>array</i>	P _{PV array}	4.040,22 kWp
Baterai		41.749 kWh
Inverter <i>Bidirectional</i>	P _{electrical}	2000 kW

Pengurangan Emisi (CO₂)

Setelah dilakukan perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti generator diesel dapat mengurangi emisi sebesar 1,78 tonCO₂/tahun, dan akibat pembakaran gas metana dapat mengurangi emisi sebesar 44.073,75 tonCO₂/tahun. Sehingga didapatkan total pengurangan emisi CO₂ yang bisa dilakukan adalah sebesar 44.075,53 tonCO₂/tahun.

Aspek Ekonomi

Evaluasi kelayakan ekonomis pembangkit menggunakan analisis NPV, PBP, dan IRR, dimana di asumsikan usia ekonomi proyek ini selama 20 tahun sejak proyek mulai beroperasi dan suku bunga Bank sebesar 6,42%. Secara ringkas hasil analisis kelayakan ekonomis ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kelayakan Ekonomi

Deskripsi	Hasil Perhitungan
Penghematan Gasoil	Rp.2.441.165.712/tahun
Penjualan CER	Rp.6.611.062.500/tahun
NPV	Rp.136.266.578.753
PBP	13,8 Tahun
IRR	9,41%

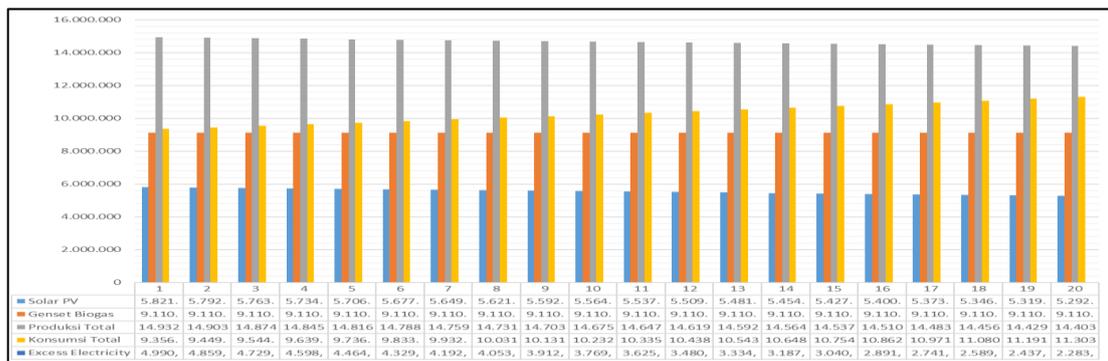
Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa potensi implementasi pembangkit listrik tenaga *hybrid* cukup sensitif terhadap perubahan parameter harga gasoil, harga jual CER, dan COD (Lihat Tabel 3). Harga jual CER dan nilai COD yang berkurang lebih dari 15% akan menyebabkan tidak berpotensi untuk di diimplementasikan. Peningkatan nilai COD sejalan dengan meningkatnya produksi biogas,

tetapi produksi listriknya tidak akan meningkat selama kapasitas pembangkit masih sama.

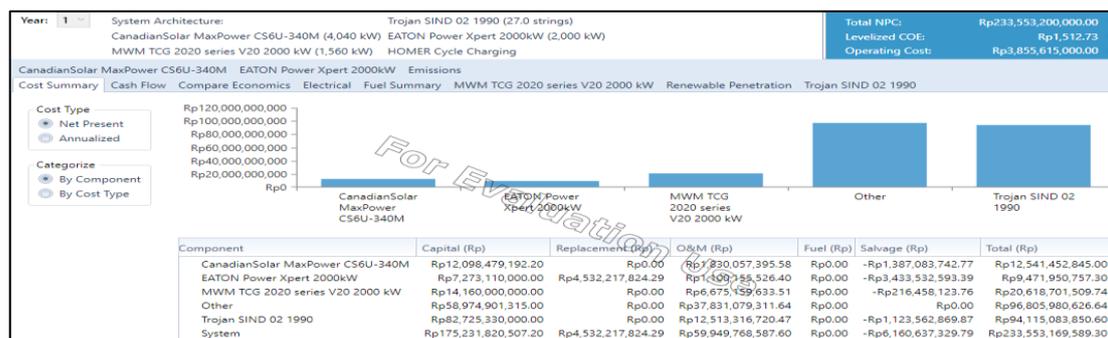
Tabel 3. Hasil perhitungan sensitivitas ekonomi

Harga Gasoil					
	-30%	-15%	Base	+15%	+30%
NPV(Rp)	106.347.163.565	121.306.871.159	136.266.578.753	151.226.286.347	166.185.993.941
PBP (Tahun)	14,91	14,37	13,83	13,29	12,75
IRR (%)	8,09	8,81	9,53	10,25	10,97
Harga Jual CER					
	-30%	-15%	Base	+15%	+30%
NPV(Rp)	55.240.074.557	95.753.326.655	136.266.578.753	176.779.830.851	217.293.082.949
PBP (Tahun)	16,95	15,39	13,83	12,33	10,83
IRR (%)	5,57	7,55	9,53	11,45	13,37
COD					
	-30%	-15%	Base	+15%	+30%
NPV(Rp)	55.301.459.729	55.301.459.729	136.266.578.753	-	-
PBP (Tahun)	17,07	15,45	13,83	-	-
IRR (%)	5,45	7,49	9,53	-	-

Hasil Simulasi HOMER Pro



Gambar 4. Produksi, konsumsi, dan kelebihan energi listrik selama umur proyek



Gambar 5. Cost summary

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa produksi energi listrik selama umur proyek didominasi dari Biogas yaitu sekitar 61%-63,3%, dan kekurangannya di suplai oleh Solar PV. Untuk grafik konsumsi energi listrik yang terus naik selama umur proyek karena di asumsikan adanya peningkatan konsumsi listrik sebesar 1% per tahun. Selain itu juga terlihat adanya energi lebih (*excess electricity*) pada setiap tahunnya. Hal ini dikarenakan pembangkit yang dirancang di desain melebihi kebutuhan, guna

mengantisipasi pertumbuhan beban, dan mengkompensasi *losses* pada sistem pembangkit (efisiensi komponen, maupun penyaluran energi listrik).

Hasil simulasi HOMER pada Gambar 5 di atas, dapat dilihat bahwa total seluruh biaya yang dibutuhkan untuk membangun dan mengoperasikan sistem pembangkit *hybrid* selama 20 tahun umur proyek atau NPC (*Net Present Cost*) total sebesar Rp. 233.553.169.589,30. Total NPC tersebut, 75,03%

digunakan untuk investasi awal, 1,94% biaya penggantian komponen, dan biaya O&M 25,67%.

Kesimpulan

Pembangkit listrik tenaga *hybrid Solar PV-Biogas off grid system* yang direncanakan secara teknis mampu melayani beban secara kontinyu selama 20 tahun umur proyek. Sampai akhir tahun ke 20 umur proyek yang direncanakan, produksi dari pembangkit listrik tenaga *hybrid Solar PV-Biogas off grid system* masih memiliki kelebihan energi sebesar 2.283.787kWh/tahun atau sebesar 15,9% dari produksi total yang bisa digunakan untuk melayani kebutuhan energi di tahun berikutnya. Diketahui potensi pengurangan emisi CO₂ tahunan sebesar 44.075,53 ton, dan diperoleh biaya CER sebesar Rp.6.611.062.500 per tahun. Berdasarkan hasil perhitungan kelayakan aspek ekonomi dengan 3 parameter menunjukkan: NPV bernilai positif, PBP lebih kecil dari umur proyek, dan IRR lebih besar dari suku bunga Bank.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pembangkit *hybrid Solar PV-Biogas off grid system* di PT.TBS berpotensi bagus dari sisi teknis-ekonomi dan dapat dikembangkan untuk kajian lebih detail jika ingin diimplementasikan. Dengan kata lain, penelitian ini merekomendasikan untuk pengkajian lebih lanjut dari studi kelayakan proyek (seperti: aspek sosial dan lingkungan).

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada PT.TBS Unit 1 Provinsi Riau yang telah mendukung dan memfasilitasi penelitian ini. Serta semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian hingga selesai.

Daftar Pustaka

- [1] (DEN) Dewan Energi Nasional, "Outlook Energi Indonesia 2019," Jakarta, 2019.
- [2] Anonim, "Sawit Kembali Jadi Penyumbang Devisa Terbesar," *BUMN*, 2018. [Online]. Available: <http://www.bumn.go.id/ptpn5/berita/1-Sawit-Kembali-Jadi-Penyumbang-Devisa-Terbesar>. [Accessed: 14-Dec-2019].
- [3] Rahayu *et al.*, *Konversi POME Menjadi Biogas : Pengembangan Proyek di Indonesia*. Jakarta: Winrock International, 2015.
- [4] H. M. Faten H F, Farghally, and N. M. Ahmed, "Photovoltaic-Biomass Gasifier Hybrid Energy system for a Poultry House," *International Journal Multidisciplinary Educational Research*, vol.4, no.8, pp.51–62, 2014.
- [5] S. Agus *et al.*, "Analisis Keekonomian Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Dari Pome Dengan Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)," *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri.*, vol. 13, no. 1, pp. 75–84, 2019.
- [6] M. Sidqi, Ichwana, and K. Siregar, "Kajian Pemanfaatan POME di Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Listrik dan Mencegah Potensi Pemanasan Global," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian.*, vol. 3, no. 3, pp. 1–10, 2018.
- [7] S. Shereefdeen Oladapo *et al.*, "Potential of Off-grid Solar PV/Biogas Power Generation System: Case Study of Ado Ekiti Slaughterhouse," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 9, no. 3, pp. 1309–1318, 2019.
- [8] A. Priyanka, S. K. Kaur, and M. Rizwan, "Design of Solar-Biomass-Biogas Based Hybrid System for Rural Electrification with Environmental Benefits," *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication.*, vol. 5, no. 6, pp. 450–456, 2017.
- [9] G. Carlos D Rodríguez *et al.*, "A diesel replacement strategy for off-grid systems based on progressive introduction of PV and batteries: An Indonesian case study," *Applied Energy*, vol. 229, no. July, pp. 1218–1232, 2018.
- [10] J. Martí Herrero, *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*. 2019.
- [11] C. Nogueira, E. Maria, C. Avelino, M. Tejo, and J. N. Silva, "Projeto De Unidade De Bioenergia E Tratamento De Resíduos De Abatedouros De Aves De Corte," 2016.
- [12] D. da S. Ribeiro, "Determinação Das Dimensões De Um Biodigestor Em Função Da Proporção Gás/Fase Líquida," vol. 1, no. 27, 2011.
- [13] *Australian/New Zealand Standard TM 4509.2 Stand-alone power systems-Part 2: System design*. Sydney: SAI Global Limited, 2010.
- [14] NASA, "Prediction of Worlwide Energy Resource," 2010. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed: 14-Jun-2020].
- [15] Giatman, *Ekonomi Teknik*, 1st ed. Jakarta: PT. RajaGrafindo Persada, 2006.