

PERANCANGAN DAN ANALISA TEKNO EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS DENGAN MEMODIFIKASI GENERATOR SET (GENSET) BERBAHAN BAKAR MINYAK MENJADI GENERATOR SET (GENSET) BIOGAS

Gregorius M. Pasaribu^{*}, Enda Sinuraya dan Denis

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*}E-mail: gregoriuspa1000@gmail.com

Abstrak

Dengan banyaknya potensi kotoran sapi di Indonesia, maka sangat memungkinkan untuk di kembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga biogas (PLTB) guna memperoleh potensi kotoran sapi agar menghasilkan energi listrik yang mampu memenuhi kebutuhan listrik baik secara teknis dan ekonomi. Metode yang digunakan dalam menganalisis aspek teknis dengan perhitungan secara manual seperti perhitungan potensi biogas menghasilkan 3,90m³/hari, perhitungan digester 6000 Liter, , perhitungan produksi biogas 1408 m³/tahun dan energi listrik 686 kWh/tahun, untuk aspek ekonomi dalam penelitian ini menggunakan simulasi REETscreen. seperti perhitungan biaya produksi Rp 11.711.000, perhitungan pemeliharaan dan operasional Rp 255.920 dan analisis kelayakan finansial berupa perhitungan *Cash in Flow*(CF) sebesar Rp 988.320 , *perhitunga Net Present Value* (NPV) Rp -6.316.305,03 < 0, *perhitungan Payback Periode* (PBP) 15,4 Tahun < 20 Tahun (Layak)

Kata kunci: PLTB, biogas, digester, ,energi listrik,,RetScreen

Abstract

With the many potentials for cow dung in Indonesia, it is very possible to be developed as a biogas power plant (PLTB) to obtain the potential for cow dung to produce electrical energy capable of meeting electricity needs both technically and economically. The method used in analyzing technical aspects is manually calculated, such as calculating the potential for biogas to produce 3.90m³ / day, digester calculation of 6000 liters, calculation of biogas production of 1408 m³ / year and electrical energy of 686 kWh / year, for the economic aspect of this study using simulations. REETscreen. such as calculation of production costs of IDR 11,711,000, calculation of maintenance and operation of IDR 255,920 and analysis of financial feasibility in the form of calculation of Cash in Flow (CF) of IDR 988,320, calculation of Net Present Value (NPV) of IDR -6,316,305.03 < 0, calculation of Payback Period (PBP) 15.4 Years < 20 Years (Eligible)

Keywords: PLTB, Biogas, digester, electricity, Digester

1. Pendahuluan

Berkurangnya cadangan sumber energi dan kelangkaan bahan bakar minyak yang terjadi di Indonesia dewasa ini membutuhkan solusi yang tepat terbukti dengan dikeluarkannya kebijakan pemerintah dalam konversi minyak tanah ke gas.[1] Namun ada kalanya penggunaan energi fosil layaknya gas bumi (LPG dan LNG) sebagai energi pengganti minyak tanah perlu untuk dikaji kembali. Hal ini berguna diterapkan sebab sumber energi fosil juga memiliki jumlah cadangan yang terbatas dan bersifat tidak dapat diperbaharui (*non renewable*) sehingga konversi minyak tanah ke gas hanya berlangsung sementara. Dengan ketersediaan pasokan energi fosil yang terbatas dan seiring dengan peningkatan penggunaan energi, memaksa banyak peneliti untuk mencari alternatif lain

yang dapat digunakan sebagai sumber energi yang juga mudah, murah, dan ramah lingkungan. Pada akhirnya salah satu sumber energi alternatif yang saat ini cukup potensial untuk diterapkan di Indonesia adalah biogas.[2]

Biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan. Hal itu dikarenakan kandungan *methane* (CH₄) yang tinggi dan nilai kalornya yang cukup tinggi yakni berkisar antara 4.800 – 6.700 kkal/m³. Seperti yang kita ketahui *methane* (CH₄) hanya memiliki satu karbon dalam setiap rantainya, dengan demikian dapat membuat pembakarannya menjadi lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar berantai karbon panjang. Hal ini juga disebabkan karena jumlah CO₂ yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar berantai karbon pendek cenderung lebih sedikit. Kandungan *methane* yang cukup tinggi dalam biogas dapat

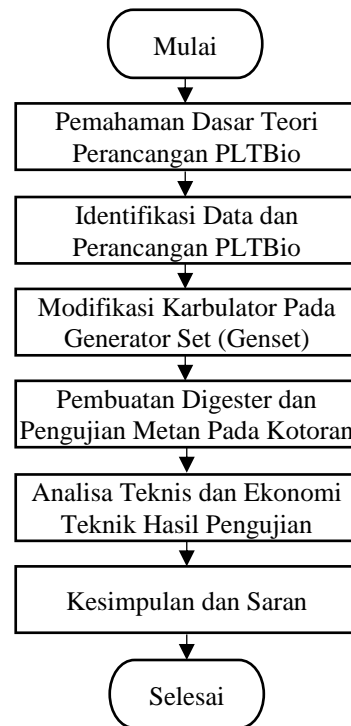
membantu dan mengurangi peran dari LPG dan petrol (bensin). Pada dasarnya pemanfaatan dan penggunaan biogas sudah banyak dilakukan, tetapi pada umumnya digunakan sebagai bahan bakar untuk keperluan memasak pada skala rumah tangga yang tergolong terbilang masih kecil. [3]

Dewasa ini, genset biasanya dioperasikan dengan bahan bakar minyak berupa solar atau premium. Dengan adanya kebijakan pemerintah mengurangi penggunaan bbm dan penghapusan subsidi secara bertahap membuat harga bbm semakin tinggi sehingga biaya operasional genset semakin besar. Maka dalam tugas akhir ini akan dilakukan penelitian untuk merancang dan menganalisis potensi Pembangkit Listrik Tenaga biogas dengan memodifikasi Generator set Bensin menjadi Generator Set Biogas yang ditinjau dari sisi teknis dan analisis ekonomi. Analisa teknik adalah membahas tingkat produktivitas biogas dan kelayakan dan besar nya daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTB. Untuk perhitungannya digunakan data konversi energi.[4] Dalam konversi energi biogas untuk pembangkitan energi listrik dilakukan dengan dengan beberapa cara, yaitu dengan penggunaan gas turbine, microturbines dan Otto Cycle Engine. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi potensi biogas yang ada seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban dan ketersediaan dana yang ada. [5] Analisa ekonomi dilakukan dengan menghitung Cash Flow, NPV, BCR, dan PBP. Analisis ekonomi juga menggunakan bantuan perangkat lunak RetScreen Expert.

2. Metode

2.1. Perancangan Simulasi

Dalam pengerjaan Penelitian ini digunakan analisa teknik dan analisa ekonomi. Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Perancangan dan Analisa Tekno Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Memodifikasi Generator Set (Genset) Berbahan Bakar Minyak Menjadi Generator Set (Genset) Biogas” dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

2.2. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan perancangan pembangkit listrik tenaga biogas skala rumah tangga dengan generator berdaya 900 Wp di salah satu kandang sapi milik Fakultas Pertanian dan Peternakan.



Gambar 2. Lokasi Penelitian



Gambar 3. Tampak depan kandang

2.3. Pengambilan Data

Tujuan pertama dari penelitian ini adalah melakukan perancangan sistem PLTBio kapasitas 500 Wp skala kecil.. Pada bagian ini akan dibahas mengenai tujuan pertama dari penelitian ini. Wp sendiri merupakan singkatan dari kata *Wattpeak* yaitu daya keluaran dari Generator Set pada saat kondisi ideal. Kapasitas 500 Wp dipilih dikarenakan spesifikasi yang terpasang pada Genset adalah 1000 Watt. Maka dapat ditarik kesimpulan daya maksimal yang mampu dibangkitkan oleh Genset adalah 500 Watt. Sebelum melakukan perancangan, perlu dilakukan visualisasi 2D atau 3D agar didapat gambaran dari PLTBio tersebut. Maka tahap selanjutnya adalah dilakukan modifikasi pada karbulator Genset. Karbulator. [8]

yang sebelumnya merupakan karbulator berbahan bakar bensin digantikan dengan karbulator gas dengan kebutuhannya di tempat dimana sebelumnya karbulator bensin diletakkan. Dalam modifikasi perlu diketahui spek masing masing Genset adalah berbeda, jadi diharuskan memasang 9karbulator dengan spek yang sesuai agar generator dapat beroperasi sesuai yang dirancang sebelumnya. Hal yang selanjutnya dilakukan adalah memasang sensor flow dan sensor Metan yang bertujuan untuk mengukur volume biogas yang mengalir ke generator dan tekanan dari biogas serta konsentrasi gas metana pada biogas yang pada akhirnya data pengukuran tersebut diolah agar dapat meninjau kelayakan PLTBio dari segi Ekonomi dan Tekniknya. Setelah didapat data pengujian maka digunakan *RetScreen* sebagai perangkat lunak guna mengolah hasil proyeksi energi listrik yang diperoleh dan identifikasi analisis ekonomi teknik dari PLTBio yang dirancang.

2.4. Analisis Teknis

2.4.1. Konversi Energi dan Pemanfaatannya

Dalam konversi energi biogas untuk pembangkitan energi listrik dilakukan dengan dengan beberapa cara, yaitu dengan penggunaan gas turbine, microturbines dan Otto Cycle Engine. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi

potensi biogas yang ada seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban dan ketersediaan dana yang ada.

Dalam Buku *Renewable Energy Conversion, Transmsision and Storage* karya Bent Sorensen, bahwa 1 Kg gas methane setara dengan $6,13 \times 10^7$ J, sedangkan 1 kWh setara dengan $3,6 \times 10^6$ Joule. Untuk massa jenis gas metan $0,656 \text{ kg/m}^3$ Sehingga 1 m³ gas metane menghasilkan energi listrik sebesar 11,17 kWh. Berikut adalah table konversi energi yaitu dari gas metan menjadi energi listrik. [11]

Tabel 1. Tabel konversi energy

Jenis Energi	Setara Energi
1 Kg Gas Metan	$6,13 \times 10^7$ J
1 kWh	$3,6 \times 10^6$ J
1 M ³ Gas Metan	$4,0213 \times 10^7$ J
Massa Jenis = $0,656 \text{ Kg/M}^3$	
4. 1 m ³ Gas Metan	11,17 kWh

2.4.2. Perhitungan Produksi Biogas dan Energi Listrik Selama Hari Operasiol

Perhitungan produksi biogas (gas metana) dan energi listrik yang dapat dibangkitkan adalah sebagai berikut :

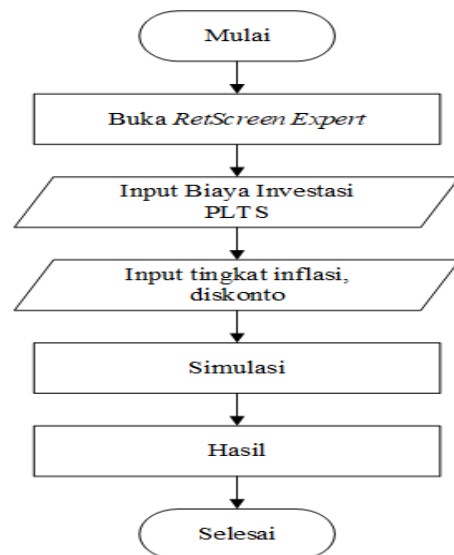
1. Produksi Gas Metana

Produksi gas metana/tahun = Produksi gas metana/hari \times 361 hari.

2. Produksi Energi Listrik

Produksi energi listrik/tahun = Produksi energi listrik/hari \times 361 hari

2.5. Analisis Ekonomi



Gambar 4. Diagram alir pengoperasian perangkat lunak RetScreen

Secara umum analisis ekonomi bisa dikatakan sebagai analisis ekonomi dari suatu investasi teknik . Tujuan dari analisis ini untuk menilai kelayakan suatu proposal investasi teknis dengan melakukan kajian alternatif yang dianggap paling menguntungkan. Metode analisis ekonomi

yang digunakan pada penelitian ini adalah Net Present Value (NPV) dan Metode Discounted Payback Period (DPP). [15] Selain menggunakan perhitungan biasa, akan digunakan perangkat lunak RetScreen sebagai alat bantu untuk menganalisis kelayakan ekonomi teknik dari investasi PLTB, tahapan simulasi pada perangkat lunak RetScreen memiliki diagram alir sebagai Gambar 4.

Perangkat lunak *RetScreen* adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Pemerintah Kanada. Perangkat lunak tersebut dapat memberikan identifikasi yang komprehensif, penilaian dan pengoptimalan teknis dan viabilitas finansial energi terbarukan yang potensial dan proyek efisiensi energi, juga pengukuran dan verifikasi performa aktual pada fasilitas dan identifikasi peluang penghematan/produksi energi.

2.5.1. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah metode menghitung nilai bersih pada waktu sekarang (*present*). Asumsi *present* yaitu menjelaskan waktu awal perhitungan bertepatan dengan saat evaluasi dilakukan atau pada periode tahun ke-nol (0) dalam perhitungan cash flow investasi [9]. *Cash flow* terdiri dari cash in dan cash out, *Cash flow* yang benefit saja perhitungannya disebut dengan *Present Worth of Benefit* (PWB), sedangkan jika yang diperhitungkan hanya cash out (cost) disebut dengan *Present Worth of Cost* (PWC). Sementara itu, NPV diperoleh dari PWB-PWC. Untuk menghitung nilai PWB, PWC, dan NPV digunakan persamaan sebagai berikut:

$$PWB = \sum_{t=0}^n Cb_t(FBP)_t \quad (1)$$

$$PWC = \sum_{t=0}^n Cc_t(FBP)_t \quad (2)$$

$$NPV = PWB - PWC \quad (3)$$

Dimana Cb adalah *Cash Flow Benefit*, Cc adalah *Cash flow cost*, FBP adalah Faktor Bunga *Present*, t adalah periode waktu dan n adalah umur investasi.

Untuk mengetahui apakah rencana suatu investasi tersebut layak ekonomis atau tidak, diperlukan suatu ukuran/kriteria tertentu dalam metode NPV yaitu:

1. NPV lebih dari 0, artinya investasi layak (feasible) [9].
2. NPV kurang dari 0, artinya investasi tidak layak (unfeasible) [9].

2.5.2. Discounted Payback Period (DPP)

Discounted payback period (DPP) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi, yang dihitung dengan menggunakan faktor bunga present dalam perhitungannya. Cara perhitungan DPP adalah dengan menghitung waktu yang dibutuhkan (tahun) agar arus kas bersih nilai sekarang kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal. [7]

Untuk menghitung discounted payback period digunakan persamaan sebagai berikut:

$$k_{(DPP)} = \sum_{t=0}^k CF_t(FBP)_t \geq 0 \quad (4)$$

Dimana k adalah periode pengembalian, CF_t adalah *Cash flow* periode ke- t , dan FBP adalah Faktor Bunga *Present*. Bila periode waktu DPP lebih pendek dari umur proyek maka investasi proyek akan dinilai layak dan bila periode waktu DPP lebih panjang dari umur proyek maka investasi proyek dinilai belum layak.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa Teknis

3.1.1. Potensi Produksi Gas Metan Kotoran Sapi

Dalam perhitungan suatu pembangkit listrik tenaga biogas dari kotoran sapi diperlukan lokasi peternakan untuk mendapatkan model dasar pembangkit tersebut. Penelitian dilakukan di salah satu peternakan sapi milik Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro. Kandang yang digunakan dalam penelitian ini yang merupakan peternakan sapi Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro memiliki 20 ekor sapi, dimana seekor sapi menghasilkan sekitar 15 kg tinja per hari. Sehingga kotoran yang dihasilkan adalah $20 \times 15 \text{ kg} = 300 \text{ kg}$. Untuk pengujian laju produksi biogas digunakan sampel kotoran sapi sebanyak 3 kg substrat cair kotoran sapi dengan perbandingan kotoran dan air 1:1. Dari 3 kg tersebut ditambahkan kurang lebih 750 gram/hari untuk menjaga kestabilan dari pembentukan biogas. pengujian dilakukan selama selama 14 hari. [6]

Pada pengujian tingkat produktifitas biogas, biogas pada awalnya di alirkan kedalam *gas sampling bags* berukuran 10 L sebanyak 2 buah. Kemudian setelah *gas sampling bags* penuh, maka kemudian biogas dialirkan ke dalam ban dalam mobil. Melalui pengujian itu juga diperoleh kesimpulan pada 2 hari pertama produksi gas metan sangat kecil. Hal itu disebabkan karena pada 2 hari pertama masih terjadi proses pembentukan mikroba dan bakteri yang bekerja selama proses pembentukan biogas. Dari hari ke 3 sampai hari ke 14 pembentukan gas terjadi hampir mendekati konstan.

Sesuai dengan data pengukuran laju produktivitas biogas pada 5 kg substrat pada digester mampu menghasilkan $\pm 20 \text{ dm}^3$ dan jika dihitung maka per kg nya menghasilkan $\pm 13,3 \text{ dm}^3$ biogas atau $0,013 \text{ m}^3$, sehingga dapat diketahui banyaknya potensi biogas di Fakultas Pertanian dan Peternakan adalah :

$$\begin{aligned} \text{Potensi biogas} &= 0,013 \text{ m}^3 \times \text{banyaknya kotoran sapi} \\ &= 0,013 \text{ m}^3 \times 300 \text{ Kg} \\ &= 3,9 \text{ m}^3 / \text{hari} \end{aligned}$$

Produksi energi pada biogas sebanding dengan produksi gas metan. Melalui hasil pengujian tingkat konsentrasi metan sebesar dan diketahui nilai produksi biogas sebesar $3,9 \text{ dm}^3/\text{hari}$ dan dengan menggunakan nilai konsentrasi rata rata biogas dari tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Tingkat Konsentrasi

Pengujian Ke-	Tingkat Konsentrasi	
	PPM (Part Per Milion)	Persen (%)
1	64230	64,23
2	64600	64,60
3	67860	67,86
4	64050	64,05
5	66320	66,32
6	66500	66,50
7	67500	67,50
8	65340	65,34
9	67400	67,40
10	68500	68,50
Rata Rata Konsentrasi Metan (%)		66,23

maka dapat diketahui produksi gas metan adalah,
 Potensi gas metana = % Pembacaan Sensor x VBS
 = 65,7% x 3,9 m³
 = 2,56 m³ per hari

3.1.2. Perhitungan Potensi Energi Listrik

Berdasarkan faktor konfersi pada table 1 Diketahui bahwa 1 m³ biogas dapat setara dengan 11,17 kWh , sehingga untuk 3,9 m³ biogas dapat membangkitkan energi sebesar:
 Besar Energi = banyak biogas x Energi yang dapat dibangkitkan per m³
 = 3,9 x 11,17 kWh
 = 45,63 kWh

Daya = 45,63 kWh : 24 Jam
 = 1,90 kW

Jadi secara teoritis besar energi biogas di peternakan sapi Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro adalah sebesar 1,90 kWh dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,90 kW per hari.

3.1.3. Perancangan Digester

Sebagai data awal adalah potensi kotoran sapi di peternakan milik Fakultas Pertanian dan Peternakan adalah 300 kg/hari. Secara sederhana urutan perancangan fasilitas digester dimulai dengan perhitungan volume digester yang meliputi potensi bahan baku yang ada dalam menghasilkan gas methan, penentuan model digester, perancangan tangki penyimpanan dan diakhiri dengan penentuan lokasi.

Digester yang digunakan dalam perencanaan ini menggunakan tipe *fixed dome* atau *fixed drum digester type*, Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi digester dibuat di dalam tanah dengan konstruksi permanen. Selain dapat menghemat tempat lahan, pembuatan digester di dalam tanah juga berguna mempertahankan suhu digester stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri methanogen. [12] Perencanaan ukuran digester dilihat dari jumlah kotoran sapi harian, perbandingan komposisi campuran air dan kotoran sapi, waktu digestifikasi dan jumlah volume

biogas yang dihasilkan. Jumlah kotoran harian yang dihasilkan di peternakan sapi milik Fakultas Pertanian dan Peternakan adalah 300 kg. Untuk mendapatkan biogas dengan kualitas terbaik adalah dengan menambahkan air. Untuk membuat bahan baku biogas adalah dengan mencampurkan kotoran sapi dalam keadaan segar dengan air dengan perbandingan 1:1. Sehingga total nya menjadi 600 kg Substrat cair kotoran sapi. [13]

Dengan diperhitungkan bahwa proses digestifikasi adalah 14 hari maka disimpulkan volume kerja digester adalah total volume dikali waktu digestifikasi, yaitu :

Total berat bahan baku
 = Total bahan baku x 14 hari
 = 600 kg x 12 hari
 = 7200 kg

Karena kurang lebih 80 % bahan baku adalah air, maka dapat di asumsikan bahwa massa jenis nya bahan baku ≈ masa jenis air (1000 kg/m³).

Maka :
 Volume = m/ρ
 = 7200 kg / 1000 kg/m³
 = 7,2 m³

Karena pada penelitin ini digunakan jenis digester dengan pengisian kontinyu, maka pada pengisian awal dilakukan hanya sebesar 80% dari volume tangki digester, lalu ditunggu sampai biogas berproduksi. Setelah berproduksi, pengisian bahan organik dilakukan secara kontinyu setiap hari dengan Volume pengisian harian = 1/60 dari volume pengisian awal.

Maka volume digester :
 Volume = 7,2 x 80 %
 = 5,76 m³

Dengan demikian volume digester yang dibutuhkan adalah 5,76 m³

3.1.4. Perhitungan Produksi Biogas dan Energi Listrik Selama Hari Operasional

Dalam waktu satu tahun tidak selamanya suatu sistem pembangkit listrik tenaga biogas dapat beroperasi secara penuh, perlu diperhatikan faktor pemeliharaan untuk setiap masing – masing komponen sistem. Beberapa literatur menjelaskan bahwa jumlah hari pemeliharaan adalah 30 hari dalam satu tahun. Dengan mengasumsikan 30 hari waktu pemeliharaan, maka perhitungan produksi biogas dan energi listrik yang dapat dibangkitkan adalah sebagai berikut :

1. *Produksi Gas Metana*
 Produksi gas metana perhari sebesar 1,22m³, maka dalam satu tahun operasi dengan dengan memperhitungkan waktu pemeliharaan 4 hari adalah 3,9 m³ × 361 hari = 1408 m³/tahun

2. *Produksi Energi Listrik*

Potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dalam satu hari adalah 1,22 kWh, dengan memperhatikan waktu pemeliharaan 4 hari dalam setahun maka energi listrik yang dapat dibangkitkan dalam satu tahun operasi adalah $1,90 \text{ kWh} \times 362 \text{ hari} = 686 \text{ kWh/tahun}$.

3.2. Analisis Ekonomi

Tujuan kedua dari penelitian ini adalah menganalisis kelayakan ekonomi teknik dari perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas rooftop skala rumah tangga. Pada Subbab 4.2 ini akan dibahas mengenai tujuan kedua dari penelitian ini. Kelayakan investasi PLTB yang akan dirancang di lokasi penelitian ditentukan berdasarkan nilai *Net Present Value* (NPV) dan *Metode Discounted Payback Period* (DPP) dan *Benefit Cost Ratio* (BCR) yang di dapat dari hasil simulasi perangkat lunak *RetScreen*. Hasil simulasi dipengaruhi oleh biaya total investasi yang harus dikeluarkan, biaya operasional, *discount rate*, dan nilai inflasi. [10] Biaya total investasi didapat dari survei ke toko *offline* di area Kota Semarang maupun toko *online* di berbagai *e-commerce* di Indonesia sedangkan *discount rate* dan nilai inflasi didapat dari laman resmi Bank Indonesia

3.2.1. Perhitungan Biaya Komponen Produksi

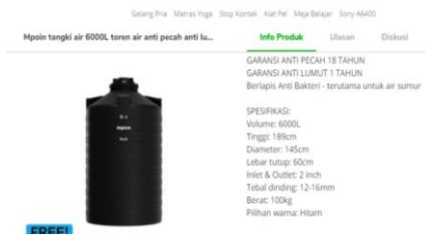
A. Biaya Investasi

1. Biaya Investasi Biogas Plant

Biaya investasi ini meliputi biaya investasi digester *anaerob* beserta komponen pelengkapannya seperti sistem instalasi pipa saluran biogas, dan bak penampungan biogas.

Biaya investasi biogas *plant*

= Rp 7.141.000,-



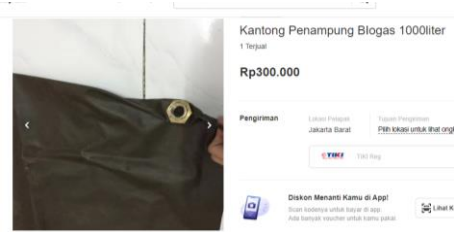
Gambar 5. Tangki Digester 6000 L

Komponen tambahan

= Pipa paralon + 2 x bak penampung biogas

= Rp 150,000 + Rp 600,000

= Rp 750,000,-

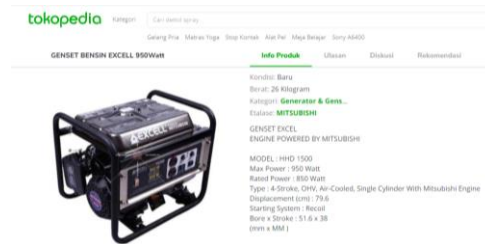


Gambar 6. Bak penampung biogas

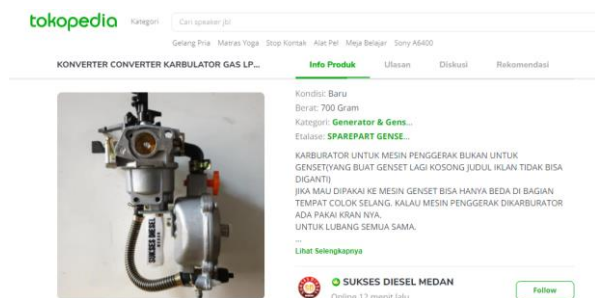
Sehingga Total Investasi biogas Plant adalah Rp 7,791,000

2. *Biaya Investasi Pembangkit Listrik*

Biaya investasi ini adalah berdasarkan harga dari pemilihan teknologi pembangkit yang akan digunakan. Dalam hal ini teknologi yang digunakan adalah motor bakar bensin dengan kapasitas 950 watt yang dimodifikasi menjadi motor bakar biogas. Pemilihan ini dikarenakan skala pembangkit yang dirancang adalah skala kecil. Harga satu unit motor bakar Mitsubishi GT 240 950 wp adalah Rp 3,705,000,- ditambah dengan karbulator *converter gas* seharga Rp 215,000,- maka totalnya Rp 3,920,000,-



Gambar 7. Generator Set Mitsubishi GT 240



Gambar 8. Converter Karbulator Gas

Tabel 3. rincian biaya investasi

No	Jenis	Biaya
1	Biaya Investasi Biogas Plant	Rp 7,791,000
2	Biaya Investasi Pembangkit Listrik	Rp 3,920,000
Total Biaya Investasi		Rp 11,711,000

B. Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)

1. *Biaya Operasional dan Pemeliharaan Biogas Plant*
Biaya operasi dan pemeliharaan dari biogas *plant* hanya biaya bahan untuk Pasokan air untuk membersihkan stabil dan pencampuran substrat. Harga air pada PDAM kota semarang adalah Rp 1,150,- per m³. Dengan demikian total pengeluarannya adalah 100,8 x Rp 1,150,- = Rp 115,920,- per tahun.
2. *Biaya Operasional dan Pemeliharaan Pembangkit Listrik*
Biaya operasional dan pemeliharaan dari Pembangkit Listrik adalah meliputi service rutin dari generator set. *Maintenance* genset dilakukan dalam periode waktu 6 bulan. Hal yang perlu diperhatikan dalam *maintenance* adalah meliputi penggantian oli mesin, filter oli mesin, dan lain2. Harga satu kali service adalah Rp 70,000,-, maka total biaya operasional genset pertahun adalah Rp 140,000,- per tahun.

3.2.2. Benefit

Berdasarkan surat Menteri ESDM kepada Direktur Utama PT PLN (Persero) tanggal 31 Agustus 2020 bahwa untuk pelanggan tegangan rendah tarifnya ditetapkan Rp 1.444,70 per kWh. [6] Maka untuk menentukan benefit suatu pembangkit hal yang menjadi acuannya adalah total energi yang dibangkitkan dikali dengan harga jual energi listrik. Total benefit dalam satu tahun adalah : 686 kWh x Rp 1444,70 = Rp 988,320.

3.2.3. Analisa Kelayakan Finansial

A. Benefit/ Cost Ratio

Pada penelitian ini menggunakan *discount factor* sebesar 12 %. Data tersebut diambil berdasarkan data dari Bank Indonesia. Berikut adalah hasil perhitungannya :

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai BCR sebesar 0,535. Pada dasarnya nilai BCR dinyatakan layak jika $BCR > 1$. Sehingga pada penelitian ini berdasarkan analisis BCR dinyatakan tidak layak karena $0,535 < 1$.

B. Net Present Value (NPV)

Berdasarkan hasil perhitungan dari *Benefit/ Cost Ratio* maka diperoleh hasil *Net Present Value* sebagai berikut :

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai NPV sebesar -6.316.305,03. Pada dasarnya nilai BCR dinyatakan layak jika $NPV > 0$. Sehingga pada penelitian ini berdasarkan analisis BCR dinyatakan tidak layak karena $-6.316.306,03 < 1$.

C. Discounted Payback Period (DPP)

Cara perhitungan DPP adalah dengan menghitung waktu yang dibutuhkan (tahun) agar arus kas bersih nilai sekarang kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal. [7]

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa pada tahun ke-16 nilai *kumulatif net cash flow* mencapai nilai positif. Maka dapat disimpulkan bahwa *Payback Period* sebesar 15 tahun xx bulan yaitu pada tahun 2037.

3.3. Analisis Ekonomi menggunakan RETScreen Expert

Analisis ekonomi menggunakan *software* selain bertujuan untuk mempermudah dan mempercepat kinerja untuk menganalisa ekonomi juga digunakan untuk menyesuaikan perhitungan manual dan penggunaan komputer, *software* yang digunakan pada penelitian ini adalah *RETScreen Expert*.

Gambar 9. Informasi Fasilitas Pada RETScreen Expert

Variabel yang dimasukkan pada analisa biaya antara lain, biaya awal dengan total sebesar Rp 11.711.000, biaya O&M sebesar Rp 256.000 dan biaya penghematan tahunan (biaya pendapatan) adalah sebesar Rp 987.480.

RETScreen - Analisa biaya

Biaya awal (kredit)	Unit	Jumlah	Harga unit	Jumlah
- Biaya Investasi Pembangkit Listrik	biaya	1	IDR 7.791.000	IDR 7.791.000
- Biaya Investasi Biogas Plant	biaya	1	IDR 3.920.000	IDR 3.920.000
Total biaya awal				IDR 11.711.000

Biaya tahunan (kredit)	Unit	Jumlah	Harga unit	Jumlah
- Biaya O&M Pembangkit Listrik	biaya	1	IDR 140.000	IDR 140.000
- Biaya O&M Biogas Plant	biaya	1	IDR 115.920	IDR 115.920
Total biaya tahunan				IDR 255.920

Penghematan tahunan	Unit	Jumlah	Harga unit	Jumlah
- Benefit	biaya	686	IDR 1.440	IDR 987.840
Total penghematan tahunan				IDR 987.840

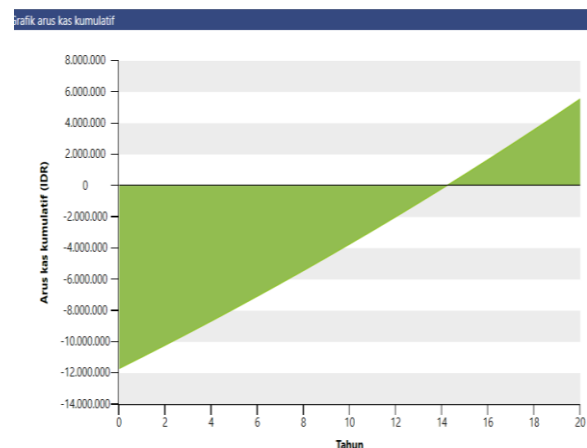
Gambar 10. Tampilan menu analisa biaya

Parameter dalam analisis finansial menggunakan *RETScreen Expert* antara lain, tingkat inflasi sebesar 1,55% dengan masa proyek selama 15 tahun. Total biaya tahunan adalah sebesar Rp 255,920.

Analisa finansial			
Parameter finansial			
Tingkat inflasi	%		1,55%
Masa proyek	thn		20
Rasio hutang	%		
Total biaya awal	IDR		11.711.000
Insentif dan hibah	IDR		0
Biaya dan pembayaran hutang tahunan			
Biaya O&M Pembangkit Listrik	IDR		140.000
Biaya O&M Biogas Plant	IDR		115.920
Total biaya tahunan	IDR		255.920
Penghematan dan pendapatan tahunan			
Benefit	IDR		987.840
Total pendapatan dan penghematan tahunan	IDR		987.840
Kelayakan keuangan			
IRR sebelum pajak - asset	%		3,8%
Pengembalian sederhana	thn		16
Balik modal ekuitas	thn		14,2

Gambar 11. Tampilan hasil analisa ekonomi pada *RETScreen Expert*

Total nilai IRR sebelum pajak ekuitas dari software *RETScreen Expert* adalah sebesar 8,1%, dengan *Payback Period* selama 17,3 tahun..



Gambar 12. Grafik *Payback Period* Pada *RETScreen Expert*

Berdasarkan perhitungan manual ekonomi dan perhitungan menggunakan *RETScreen Expert* dapat dilihat hasil yang didapatkan hampir sama, ini terlihat dari hasil *payback period* adalah 17,3 tahun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan manual dan menggunakan *software* adalah benar.

4. Kesimpulan

PLTS yang dirancang pada penelitian ini memiliki 4 variasi konfigurasi yang masing-masing berkapasitas 1215 Wp dengan inverter 1,1 kW.

Energi listrik yang dihasilkan dari PLTS rooftop skala rumah tangga ini berkisar antara 1865-1893 kWh dengan rasio kinerja berkisar antara 82,4-83,7 %.

Dari sisi ekonomi teknik, masing-masing variasi dari perancangan PLTS rooftop skala rumah tangga ini layak untuk dilaksanakan karena memiliki nilai NPV diatas 0 dan nilai DPP dibawah 25 tahun, investasi dengan waktu pengembalian modal tercepat adalah variasi 1, karena memiliki nilai DPP terkecil yaitu 13,69 tahun.

Referensi

- [1] Biogas Digest, Volume I, Biogas Basics, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT) and GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH
- [2] Analisis Potensi Biogas Untuk Menghasilkan Energi Listrik Dan Termal Pada Gedung Komersil di Daerah Perkotaan, Budiman R. Saragih, Thesis Univesitas Indonesia, 2010
- [3] Jogiyanto. (2010). *Metodologi Penelitian Bisnis: Salah Kaprah dan Pengalaman-pengalaman*. Yogyakarta: BPFE.
- [4] Analisis Tekno-Ekonomi Pemanfaatan Gas Alam Menggunakan Sistem Kogenerasi Di Rumah Sakit (Studi Kasus Rumah Sakit Kanker Dharmais), Robi H.Sembiring Thesis, 2009

- [5] Engines For Biogas, by Klaus Von Mitzlaf, A Publication Of the Deutches Zentrum fur Entwickklungstechnoligien-Gate, 1998
- [6] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2011 Tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh Perusahaan Perseroan (Persero) It Perusahaan Listrik Negara
- [7] Economic Incenti ve Policies for REDD+ in Indonesia, 2010
- [8] Biogas - Costs and Benefits and Biogas – Programme Implementation Volume III, Information and Advisory Service on Appropriate Technology.1999
- [9] Mahmud. Tahun 2015 “Analisis Tekno Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Anaerobik Biogas Dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi Di Desa Galang ” Vol:7. No 2. Teknil Elektronika Industri. Pontianak.
- [10] Nasrudin., B. M. Sinaga, B.M. Nasrudin. Tahun 2014 “Prediksi Nilai Tukar Rupiah dalam Integrasi Ekonomi Regional Asean - China,” *Finance Bank Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 63–76,
- [11] Ardiansyah, Tahun 2017 “Kajian Potensi Limbah Kotoran Manusia Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Kota Pontianak,” *ELKHA*, vol. 9, no. 2, pp. 53–60, Pontianak.
- [12] Bernhard,Kivumbi.Tahun 2015. ”*Techno-Economic Assessment of Municipal Solid Waste Gasification for Electricity Generation: a Case Study of Kampala City Uganda. Agric Eng Int: CIGR Journal Open*.Vol 17 No 4. Uganda
- [13] Suyitno. Tahun 2010. “Buku Graha Ilmu : Teknologi Biogas, *Pembuatan, Operasional, dan Pemanfaatan*”. Yogyakarta
- [14] I. N. Pujawan, *Ekonomi Teknik Edisi 3*. Yogyakarta: LAUTAN PUSTAKA, 2019.