

Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Hibrid di Kelompok Ternak Sukamaju II

Ferizandi Qauzar Gani¹, Amrina Mustaqim², Retno Maharsi³, Muhammad Iqbal Damara⁴

Program Studi Teknik Fisika Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan
Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan 35365

¹ferizandy.gani@tf.itera.ac.id

²amrina.mustaqim@tf.itera.ac.id

³retno.maharsi@bm.itera.ac.id

⁴muhammad.119320043@student.itera.ac.id

Intisari — Penelitian ini berfokus pada pengkajian pembangkitan energi dari biogas dan surya menjadi sumber daya elektrik di Desa Purwodadi Dalam. Fokus utama penelitian ini adalah menilai kelayakan teknis dan ekonomis, serta manfaat positifnya dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Hasil studi menunjukkan bahwa pembangkit listrik hibrid dapat menghasilkan energi sebesar 76.365 kWh/tahun, 132.812 kWh/tahun, dan 17.062 kWh/tahun dengan ketersediaan bahan baku yang melimpah. Dari sudut pandang ekonomi, proyek ini diproyeksikan memiliki nilai bersih sekarang (NPV) sebesar Rp.327.085.000 dan Rp.726.808.000, rasio manfaat-biaya sebesar 1,99 dan 3,21, serta waktu pengembalian investasi selama 6 tahun 9 bulan dan 3 tahun 15 hari. Selain itu, proyek ini berpotensi mengurangi emisi hingga 618,894 tCO₂/tahun, 618,894 tCO₂/tahun, dan 18,30 tCO₂/tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa pengembangan proyek energi terbarukan ini secara teknis dan ekonomis layak untuk dilakukan.

Kata kunci — Pembangkit energi, emisi, biogas, listrik.

Abstract — This study focuses on the generation of energy from biogas and solar power into electricity in Purwodadi Dalam Village. It focuses on assessing both technical and economic feasibility, alongside the environmental benefits of reducing greenhouse gas emissions. The findings indicate that hybrid power plants have the capability to generate 76.365 kWh/year, 132.812 kWh/year, and 17.062 kWh/year, utilizing readily available raw materials. From an economic perspective, the project is projected to achieve net present values of Rp.327.085.000 and Rp.726.808.000, a benefit-cost ratio of 1.99 and 3.21, and investment payback periods of 6 years 9 months and 3 years 15 days. Additionally, the project offers a significant reduction in emissions, with potential reductions of 618,894 tCO₂/year, 618,894 tCO₂/year, and 18.30 tCO₂/year. These results suggest that the development of this renewable energy project is both technically and economically viable

Keywords — Energi generation, emissions, biogas, electricity.

I. PENDAHULUAN

Proyeksi menunjukkan bahwa permintaan energi di Indonesia akan meningkat tajam hingga tahun 2050. Menurut Indonesia Energy Outlook 2019, konsumsi energi pada tahun 2050 diperkirakan akan mencapai sembilan kali lipat dibandingkan penggunaan listrik pada tahun 2018. Pertumbuhan ekonomi, peningkatan jumlah penduduk, dan perkembangan industri menjadi faktor utama yang mendorong kenaikan ini.

Kebutuhan energi di Indonesia terus mengalami peningkatan. Namun, pasokan energi nasional masih didominasi oleh sumber-sumber berbasis fosil, yaitu gas alam, batu bara, dan minyak bumi. Kondisi ini tercermin pada sektor pembangkit listrik, di

mana energi fosil masih menjadi andalan utama. Akibatnya, timbul dampak negatif berupa pelepasan emisi gas rumah kaca yang memperparah perubahan iklim. Gas rumah kaca (GRK), terutama karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, semakin berkontribusi pada gangguan keseimbangan energi bumi dan percepatan perubahan iklim. Perlu ditekankan bahwa dampak metana terhadap lingkungan bahkan lebih besar dibandingkan dengan CO₂.

Sumber biogas yang ramah lingkungan, seperti limbah peternakan di Kelompok Ternak Sukamaju II, dapat menjadi solusi potensial. Namun, efisiensi produksi biogas perlu ditingkatkan. Dengan memadukan biogas dan energi surya, efisiensi energi bisa

ditingkatkan secara signifikan. Kabupaten Lampung Selatan memiliki intensitas sinar matahari yang mendukung pengembangan pembangkit listrik tenaga surya.

Pemerintah Indonesia berkomitmen pada pengembangan energi baru terbarukan (EBT), dengan target pemanfaatan EBT mencapai 25% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Langkah ini merupakan bagian dari upaya pencapaian target pengurangan emisi yang sejalan dengan Paris Agreement.

Melihat tantangan sekaligus peluang ini, diusulkanlah penelitian tentang 'Studi Kelayakan Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Biogas-Solar PV di Kelompok Ternak Sukamaju II' untuk mengevaluasi potensi serta kelayakan pengembangan sumber energi terbarukan ini.

II. LANDASAN TEORI

A. Biogas

Biogas merupakan gas yang dihasilkan melalui fermentasi bahan organik secara anaerobik oleh mikroorganisme, terutama bakteri. Proses ini berlangsung dalam sebuah reaktor khusus bernama digester, di mana mikroorganisme bekerja tanpa adanya udara. Komponen utama biogas adalah metana (CH_4), yang disertai campuran berbagai gas lainnya. Gas ini memiliki suhu pembakaran tinggi, berkisar antara $650\text{-}750^\circ\text{C}$, dengan nyala api yang berwarna biru, transparan, dan tidak berbau. Biogas memiliki nilai kalor sekitar $35,69 \text{ kJ/g } ^\circ\text{C}$, dengan tingkat efisiensi pembakaran mencapai 60% ketika digunakan pada tungku konvensional. Selain itu, proses produksi biogas menghasilkan residu organik yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk, menjadikan pengelolaan limbah organik lebih efisien dan ramah lingkungan.

B. Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Pembangkit listrik berbasis biogas adalah alternatif ramah lingkungan yang memadukan pengelolaan limbah organik, penyediaan energi terbarukan, dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Proses ini mencakup beberapa tahap, dimulai dari bahan baku seperti kotoran sapi dan air yang dicampur menjadi slurry untuk meningkatkan

efisiensi produksi biogas dan mencegah endapan lumpur. Kemudian, digester digunakan sebagai wadah utama di mana limbah organik diubah menjadi biogas melalui proses fermentasi anaerobik yang dilakukan oleh bakteri. Residu awal yang dihasilkan berupa slurry dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik berkualitas tinggi yang sesuai untuk kebutuhan pertanian.

Tahapan berikutnya melibatkan saluran gas berbahan polimer yang dilengkapi katup pengaman untuk mengontrol tekanan gas dalam digester dan mencegah kerusakan akibat tekanan berlebih. Gas yang dihasilkan dari proses ini kemudian diubah menjadi energi listrik menggunakan generator (genset) sebelum didistribusikan kepada pengguna atau ke jaringan listrik.

C. Konversi Energi Biogas

Pemilihan perangkat untuk mengubah biogas menjadi energi listrik dipengaruhi oleh sejumlah aspek, termasuk kadar metana dalam gas, tekanan yang dimiliki biogas, kebutuhan akan daya listrik, ketersediaan ruang, serta sifat-sifat biogas itu sendiri [1]. Energi yang dihasilkan oleh biogas mampu menghasilkan daya sebesar 60-100 watt, cukup untuk menyalakan lampu selama 6 jam [2]. Setiap 1 kilogram gas metana memiliki nilai konversi yang setara dengan $6,13 \times 10^7$ joule (J), sementara 1 kilowatt-hour (kWh) energi listrik setara dengan $3,6 \times 10^7$ J. Dengan kerapatan gas metana sekitar $0,656 \text{ kg/m}^3$, maka 1 m^3 gas metana dapat menghasilkan energi listrik sekitar 11,17 kWh [3].

D. PLTS

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan sinar matahari melalui panel surya. Kinerja PLTS dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti suhu pada modul PV, kondisi cuaca, serta intensitas sinar matahari [4]. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan energi listrik arus searah (DC), yang kemudian dapat dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter. PLTS memiliki berbagai keunggulan, seperti kemampuan beroperasi meskipun dalam

kondisi mendung, serta merupakan sumber energi terbarukan yang menjadikannya ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi atau limbah berbahaya[5]. Panel surya menjadi komponen utama dalam sistem PLTS, terdiri dari modul surya yang mampu mengonversi energi dari sinar matahari menjadi listrik. Kinerja sel surya dipengaruhi oleh berbagai faktor fisik, termasuk radiasi matahari dan suhu [6]. Komponen utama lainnya adalah inverter. Inverter berfungsi mengubah energi listrik arus searah (DC) dari panel surya menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat dimanfaatkan oleh perangkat rumah tangga, sekaligus menjaga tegangan AC tetap stabil dan aman. [7].

E. Konversi Energi Surya

Matahari adalah sumber energi alami yang serbaguna. Energi ini dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai panas. Alat yang digunakan untuk tujuan ini adalah solar heat collector. Selain itu, energi matahari juga dapat diubah menjadi energi listrik. Proses ini memanfaatkan teknologi fotovoltaik, yang menggunakan sel atau modul surya. Ketika cahaya matahari mengenai sel surya, energi dari cahaya tersebut akan mengaktifkan elektron di dalamnya, menghasilkan arus listrik [8].

F. Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid

Pembangkit listrik tenaga hibrid (PLTH) merupakan sistem yang inovatif. Sistem ini menggabungkan dua atau lebih sumber energi yang berbeda. Sumber energi ini bisa berasal dari sumber terbarukan maupun tak terbarukan. PLTH memiliki beberapa keunggulan yang signifikan. Keunggulan tersebut meliputi pengurangan biaya energi dan perpanjangan umur sistem. Selain itu, PLTH juga dapat mengurangi biaya bahan bakar dan meningkatkan efisiensi sistem pembangkit listrik. Terdapat dua jenis konfigurasi utama pada PLTH. Yang pertama adalah konfigurasi seri. Dalam konfigurasi ini, listrik yang dihasilkan oleh generator dan panel surya berupa arus DC. Arus DC ini kemudian dialirkan ke inverter untuk diubah menjadi arus AC, yang dapat digunakan untuk memasok beban. Baterai juga dapat dihubungkan sebelum inverter dalam sistem

ini. Konfigurasi yang kedua adalah konfigurasi paralel. Pada konfigurasi ini, generator dan panel surya memasok beban secara bersamaan. Sistem paralel hibrid sering dilengkapi dengan baterai. Baterai ini terhubung melalui inverter bidirectional (BDI), yang berfungsi untuk mengubah listrik DC menjadi AC dan sebaliknya.

G. Potensi Reduksi Emisi

Pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil menghasilkan karbon dioksida (CO₂), sebuah gas yang dikenal sebagai salah satu penyebab utama pemanasan global. Selain itu, metana (CH₄) juga merupakan gas rumah kaca dengan potensi pencemaran yang jauh lebih tinggi dibandingkan CO₂. Pemanfaatan kotoran ternak sebagai bahan baku untuk menghasilkan biogas menawarkan solusi ganda dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Pertama, ini mengurangi kebutuhan akan bahan bakar fosil. Kedua, ini secara langsung mengurangi pelepasan CH₄ dari limbah peternakan. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) memainkan peran penting dalam mengurangi emisi karbon yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Konsep "emisi baseline" menggambarkan tingkat emisi karbon yang diperkirakan terjadi jika PLTS tidak dibangun dan dioperasikan. Dengan memilih PLTS, kita dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon yang biasanya dihasilkan oleh pembangkit listrik konvensional, yang secara langsung berkontribusi pada upaya mengatasi perubahan iklim dan pemanasan global.

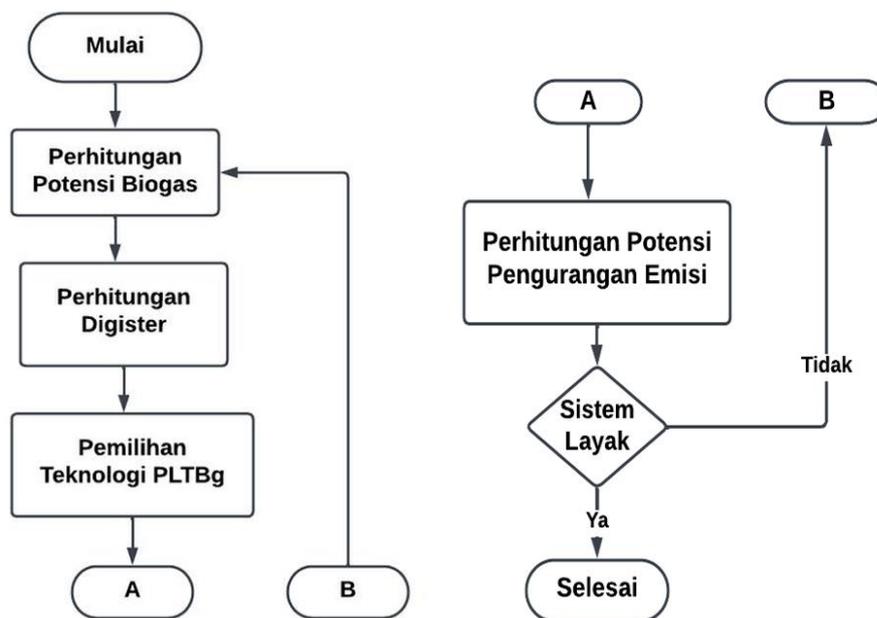
III. PEMODELAN DAN SIMULASI

A. Pemodelan Pembangkit Biogas

Gambar 1 merupakan diagram alir pemodelan pembangkit biogas. Pemodelan pada pembangkit biogas dilakukan untuk mengetahui listrik yang dihasilkan dan jumlah pengurangan emisi. Tahap pertama adalah awal dari proses analisis dan perencanaan dimulai, kemudian dilakukan perhitungan potensi biogas dengan mengumpulkan data dan melakukan perhitungan untuk menentukan potensi produksi biogas.

Melibatkan perhitungan terkait jumlah bahan baku yang tersedia dan estimasi produksi biogas yang dihasilkan. Selanjutnya perhitungan digester, pada tahap ini melibatkan perhitungan untuk menentukan jenis dan ukuran digester yang diperlukan

untuk mengolah bahan baku menjadi biogas. Pilihan yang benar untuk jenis dan ukuran digester sangat penting untuk efisiensi dan kualitas biogas yang dihasilkan.



Gbr. 1 Diagram alir pemodelan pembangkit biogas

Kemudian pemilihan teknologi pembangkit listrik tenaga biogas, setelah produksi biogas diketahui, pemilihan teknologi yang tepat untuk mengubah biogas menjadi energi listrik. Melibatkan pemilihan mesin generator atau sistem lain yang sesuai. Kemudian Perhitungan potensi pengurangan emisi, melibatkan perhitungan dampak lingkungan dari proyek biogas, termasuk pengurangan emisi gas rumah kaca. Akan dievaluasi apakah efektif proyek ini dalam mengurangi emisi yang akan terjadi. Kemudian akan mengevaluasi apakah seluruh proyek ini layak untuk dilaksanakan. Jika tidak, maka proses akan kembali ke tahap awal untuk melakukan perubahan atau perbaikan. Jika proyek dianggap layak, maka tahap selanjutnya proyek dianggap selesai dan siap untuk implementasi.

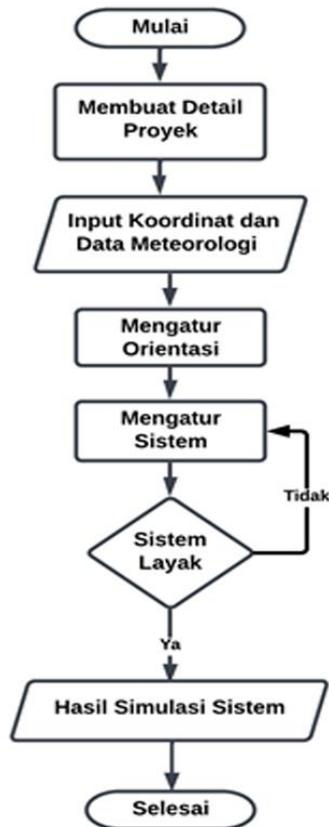
B. Simulasi Pembangunan PLTS

Simulasi pembangunan PLTS dilakukan menggunakan PVSys untuk mengetahui listrik yang dihasilkan dan mengevaluasi proyek untuk memastikan efisiensi dan

kelayakan sistem. Pada Gambar 2 menunjukkan tahap pertama adalah awal dari proses simulasi PLTS dengan PVsyst. Kemudian membuat detail proyek, termasuk parameter seperti kapasitas sistem, lokasi, dan pengaturan awal proyek. Kemudian memasukkan koordinat geografis lokasi proyek PLTS dan data meteorologi yang relevan, seperti radiasi matahari, suhu, dan curah hujan. Kemudian mengatur orientasi melibatkan pengaturan orientasi modul surya dan inverters untuk memaksimalkan efisiensi penyerapan sinar matahari.

Kemudian mengatur sistem PLTS, termasuk penempatan modul surya, jenis modul surya yang digunakan, dan konfigurasi inverter. Kemudian dilakukan evaluasi apakah sistem PLTS yang telah dikonfigurasi layak. Jika sistem dianggap layak, maka akan dilanjutkan ke tahap evaluasi hasil simulasi sistem. Namun jika sistem tidak layak, akan kembali ke tahap mengatur sistem untuk melakukan perubahan atau perbaikan.

Pada hasil simulasi sistem, akan melihat hasil simulasi PLTS, yang mencakup estimasi energi yang dihasilkan, produktivitas sistem, dan informasi lain yang relevan.

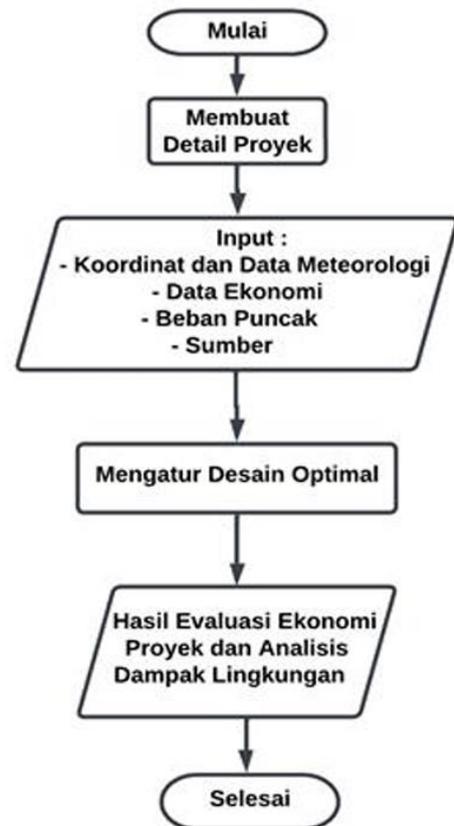


Gbr. 2 Diagram alir simulasi PLTS dengan PVSyst

C. Simulasi Evaluasi Kelayakan Ekonomi

Evaluasi kelayakan ekonomi dan pengurangan emisi dilakukan menggunakan HOMER. Dapat dilihat pada Gambar 3, tahap awal dalam proses simulasi dengan HOMER, yang merupakan langkah awal untuk merencanakan sistem energi. Kemudian membuat detail proyek, di tahap ini, akan membuat detail proyek yang mencakup informasi penting seperti kapasitas sistem, tujuan proyek, dan parameter dasar lainnya. Kemudian dilakukan input data, pada tahap ini, data penting dimasukkan, termasuk koordinat dan data meteorologi yang relevan untuk wilayah proyek, data ekonomi seperti harga energi, beban puncak, dan sumber daya yang tersedia.

Kemudian mengatur desain optimal, pada tahap ini akan mengatur desain sistem energi yang optimal, termasuk pemilihan sumber energi, konfigurasi komponen sistem, dan opsi energi terbarukan, dengan tujuan utama mencapai efisiensi ekonomi dan mengoptimalkan proyek. Pada tahap hasil evaluasi ekonomi dan pengurangan emisi, akan melibatkan evaluasi ekonomi proyek, termasuk perhitungan biaya, penghematan, dan potensi pengurangan emisi gas rumah kaca. Analisis ini membantu menentukan kelayakan proyek.



Gbr. 3 Diagram alir simulasi Homer

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Kelompok ternak Sukamaju II memiliki 200 ekor sapi jenis sapi PO dengan produksi kotoran rata-rata sebesar 20 kg/ekor/hari. Data potensi biogas berasal dari penelitian sebelumnya dan berkisar antara 0,023 - 0,040 m³ biogas/kg kotoran sapi. Dengan demikian, potensi volume produksi biogas (VBS) dari kelompok ternak Sukamaju II adalah sekitar 92 m³/hari dan 160 m³/hari.

Selanjutnya, dihitung produksi gas metana (VGM) dengan mempertimbangkan persentase yang ditemukan dalam penelitian laboratorium sebelumnya. Setiap 1 kilogram gas metana memiliki nilai konversi yang setara dengan $6,13 \times 10^7$ joule (J), sementara 1 kilowatt-hour (kWh) energi listrik setara dengan $3,6 \times 10^7$ J. Dengan kerapatan gas metana sekitar $0,656 \text{ kg/m}^3$, maka 1 m^3 gas metana dapat menghasilkan energi listrik sekitar 11,17 kWh. Dari analisis data dan perhitungan yang dilakukan, maka akan menggambarkan potensi kapasitas pembangkit listrik menggunakan biogas, seperti yang tercatat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Potensi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

No	Jenis Perhitungan	Potensi minimum 0,023 m^3/hari	Potensi maksimum 0,040 m^3/hari
1	Potensi kotoran sapi (Q)	4000 kg/hari	4000 kg/hari
2	Jumlah total solid (TS)	840 kg/hari	840 kg/hari
3	Jumlah volatile solid (VS)	760 kg/hari	760 kg/hari
4	Volume produksi biogas (VBS)	92 m^3/hari	160 m^3/hari
5	Volume gas metana (VGM)	70,95 m^3/hari	123,4 m^3/hari
6	Potensi energi listrik (E)	792,5 kWh/hari	1.378,3 kWh/hari
7	Daya yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga biogas (P)	33,02 kW	57,04 kW

Untuk memaksimalkan potensi lokasi, digunakan digester tipe fixed dome. Perancangan ukuran digester mengikuti hasil perhitungan (lihat Gambar 4), dengan potensi kotoran sapi sebanyak 4000 kg/hari yang dicampur dengan 4000 liter air/hari. Langkah berikutnya adalah menentukan dimensi geometris digester dengan menggunakan

persamaan dimensi geometris dan melakukan uji coba (*trial and error*).

Pembangkit listrik akan mengubah energi biogas menjadi energi mekanik, lalu ke energi listrik. Ini dilakukan dengan gas engine generator 15 kW, mempertimbangkan efisiensi, harga, pengoperasian, dan pemeliharaan. Mesin yang dipilih adalah Binshi power gas engine generator 15 kW tipe BMD18-D. Efisiensi mesin (η) untuk menghasilkan listrik adalah 33%, dan capacity factor (cf) adalah 80%. Rancangan digester biogas dan pemilihan mesin pembangkit listrik akan mendukung penghasilan energi dari biogas dengan efisiensi yang baik. Untuk menghitung energi listrik (El) yang dihasilkan, yaitu dengan menghitung nilai energi (E) yang sudah diketahui sebesar 792,5 kWh/hari dan 1.378,3 kWh/hari, dapat menggunakan persamaan:

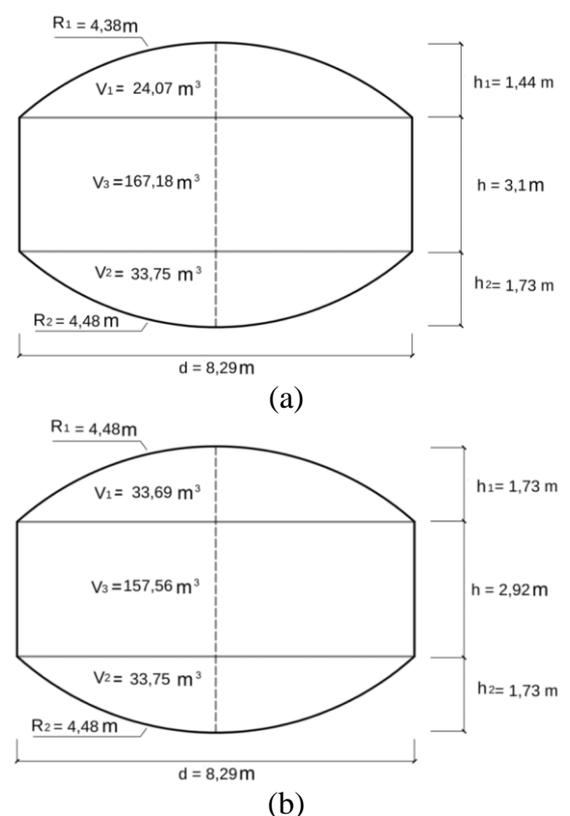
$$El = E \cdot cf \cdot \eta \quad (1)$$

$$El_{\min} = 792,5 \cdot 0,8 \cdot 33 \%$$

$$El_{\min} = 209,2 \text{ kWh/hari}$$

$$El_{\max} = 1.378,3 \cdot 0,8 \cdot 33 \%$$

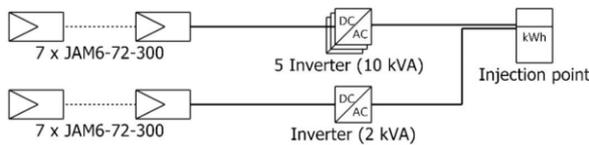
$$El_{\max} = 363,87 \text{ kWh/hari}$$



Gbr. 4 Rancangan digester (a) potensi minimum (b) potensi maksimum

B. Pembangunan PLTS dengan PVSyst

Sistem PLTS yang dibangun ditunjukkan pada Gambar 5. PLTS ini terdiri dari 42 panel yang membentuk 6 string. Setiap string terdiri dari 7 panel yang dihubungkan secara seri ke inverter, dan kemudian string ini dihubungkan secara paralel ke beban dan grid. Konfigurasi seri digunakan untuk meningkatkan tegangan total yang dihasilkan oleh string, mengoptimalkan efisiensi, dan mengurangi kerugian daya selama perjalanan energi. Setelah string-string terbentuk, inverter digunakan untuk mengubah energi listrik dari bentuk DC (arus searah) menjadi bentuk AC (arus bolak-balik).

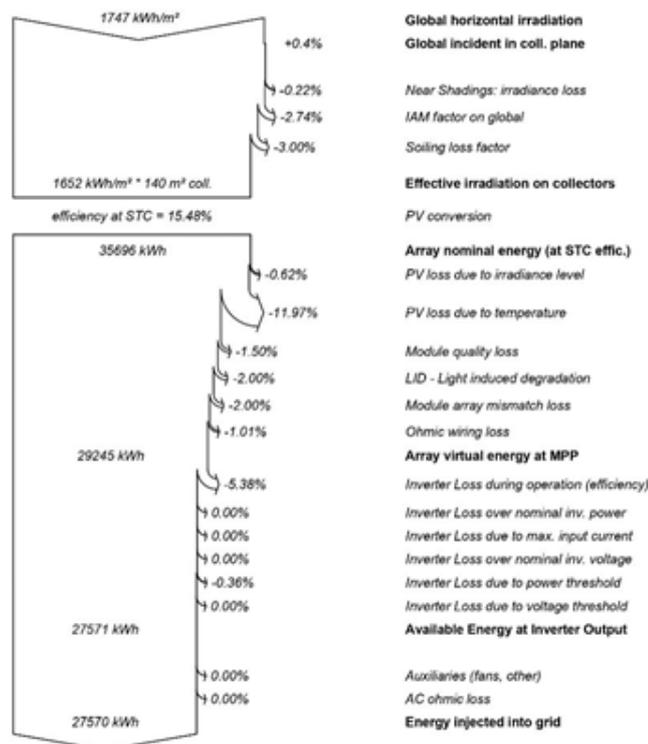


Gbr. 5 Diagram satu garis PLTS

Dari hasil simulasi PVSyst didapatkan data kerugian energi dari iradiasi matahari hingga kerugian dalam sistem PLTS. Pada Gambar 6 tampak bahwa potensi energi matahari di lokasi sistem PLTS adalah 1747 kWh/m²,

yang mencerminkan energi yang bisa dihasilkan dari sinar matahari dalam 1 m².

Selanjutnya, dilakukan identifikasi kerugian energi pada sistem menunjukkan beberapa penyebab utama. Suhu lingkungan, sudut penempatan panel surya, dan posisi matahari berkontribusi terhadap kerugian sebesar 0,4%. Adanya bayangan dari bangunan, pepohonan, atau penghalang lain mengakibatkan kehilangan energi sebesar 0,19%. Faktor Incidence Angle Modifier (IAM) global menyebabkan penurunan energi sebesar 2,75%, dan penumpukan kotoran, debu, polusi udara, serta faktor sejenis lainnya mengakibatkan kerugian sebesar 3%. Sebagai konsekuensinya, energi matahari efektif yang diterima oleh sel surya adalah 1652 kWh/m². Lebih lanjut, kerugian pada sistem juga disebabkan oleh kurang optimalnya penyerapan iradiasi PV (0,62%, dipengaruhi intensitas cahaya matahari) dan pengaruh suhu (11,97%, di mana peningkatan suhu mengurangi tegangan dan menghasilkan panas berlebih). Analisis diagram kerugian mengungkapkan bahwa potensi produksi energi sistem adalah 17062 kWh, namun karena berbagai kerugian internal, output energi aktual menurun menjadi 16056 kWh.

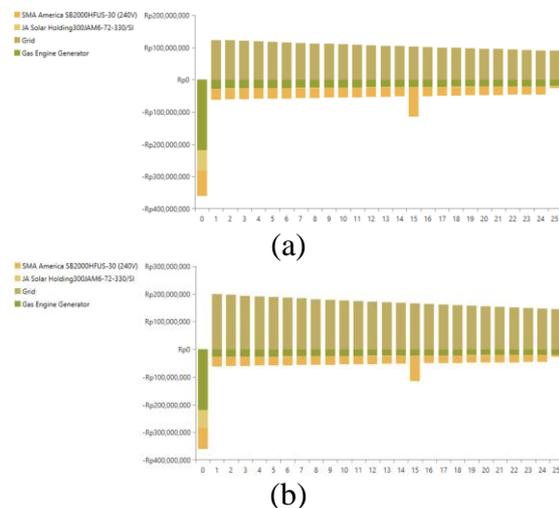


Gbr. 6 Laporan diagram loss

C. Evaluasi Kelayakan Ekonomi

Evaluasi ekonomi dalam studi ini mengaplikasikan analisis capital budgeting yang mencakup perhitungan Net Present Value (NPV), Benefit Cost Ratio (BCR), dan Payback Period (PBP). Perhitungan ini didasarkan pada spesifikasi parameter teknis dan data yang tertera pada Tabel 2. Berdasarkan informasi dari tabel tersebut, proyek ini dinyatakan layak secara teknis dan memenuhi aspek-aspek kelayakan teknis. Faktor-faktor pendukung kelayakan teknis ini adalah ketersediaan bahan baku yang berlimpah dengan potensi biogas sebesar 70,95 m³/hari dan 123,4 m³/hari, area lahan kosong yang luasnya melebihi 190 m² (cukup untuk instalasi PLTH), tersedianya peralatan mekanikal seperti gas engine generator 15 kW tipe BMD18-D, serta ketersediaan peralatan elektrikal berkualitas dengan harga yang kompetitif, seperti solar panel JA Solar 300 Wp tipe JAM6-72-300/SI dan inverter SMA 2.0 kWac tipe SUNNY BOY 2000HF US-240.

Asumsi lain yang digunakan dalam evaluasi ekonomi juga menggunakan data asumsi proyek berjalan selama 25 tahun, tingkat diskonto 5,75%, dan laju inflasi 4,37%, biaya awal proyek diperkirakan mencapai Rp.359.690.000. Ini terdiri dari berbagai komponen, seperti panel surya seharga Rp.63.000.000, inverter Rp.77.670.000, gas engine generator Rp.14.700.000, pembuatan digester Rp.180.000.000, dan biaya tanah lokasi instalasi Rp.24.320.000.



Gbr. 7 Hasil laju diskonto arus kas (a) potensi minimum (b) potensi maksimum

Tabel 2. Parameter Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dan Surya

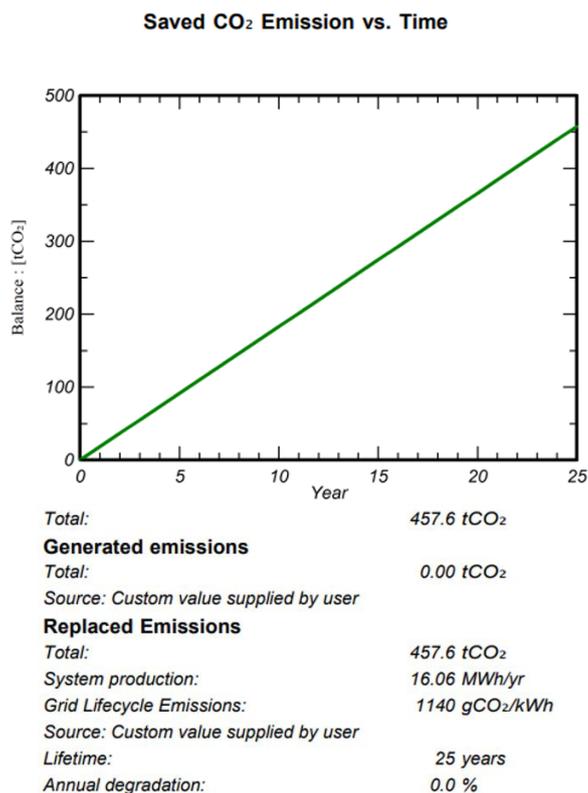
Spesifikasi	Parameter Teknis	Kondisi	Keterangan
PLTBg	Efisiensi gas engine	33%	Berdasarkan data sheet
	Potensi minimum energi listrik	209,22 kWh/hari	Hasil dari pemodelan dan perhitungan
	Potensi maksimum energi listrik	368,87 kWh/hari	Hasil dari pemodelan
	Ketersediaan produk	Tersedia	Dapat ditemukan di marketplace
	Kompleksitas operasi dan pemeliharaan	Moderat	Pengumpulan bahan baku butuh waktu, pemantauan parameter pada digester, seperti pengelolaan slurry, kondisi mesin kebocoran tangki, dan pemantauan kinerja.
PLTS	Efisiensi solar panel	15,48%	Berdasarkan data sheet alat
	Efisiensi inverter	96,30%	Berdasarkan data sheet alat
	Energi listrik	43,97 kWh/hari	Hasil simulasi dari PVsyst
	Ketersediaan produk	Tersedia	Solar panel dan inverter banyak tersebar di marketplace
	Kompleksitas operasi dan pemeliharaan	Moderat	maintenance berkala panel surya
Umum	Lahan	190 m ²	Masih terdapat lahan kosong
	Ketersediaan bahan baku	Tersedia	Air dan kotoran sapi disuplai dari kotoran ternak setiap hari, sinar matahari ada sepanjang tahun karena letak geografis

Gambar 7 menunjukkan aliran kas dari proyek pembangkit listrik tenaga hybrid selama 25 tahun. Data ini mencakup penerimaan dan pengeluaran sepanjang proyek, termasuk investasi awal, operasi, pemeliharaan, dan penggantian peralatan. Dari analisis ini, proyek diperkirakan akan menghasilkan penerimaan kas bersih sebesar Rp.739.464.884, yang menunjukkan keuntungan ekonomi selama periode analisis. Selanjutnya, hasil perhitungan menunjukkan bahwa net present value (NPV) Rp.327.085.000 dan Rp.726.808.000 yang merupakan indikasi positif bahwa proyek layak dilanjutkan. Payback period proyek ini adalah 6 tahun 9 bulan dan 3 tahun 15 hari, yang menunjukkan waktu yang diperlukan untuk pengembalian modal investasi. Benefit cost ratio (BCR) yang lebih dari 1, yaitu 1,99 dan 3,21, menunjukkan bahwa proyek ini ekonomis dan layak untuk dilanjutkan.

D. Analisis Reduksi Emisi

Pemanfaatan biogas bukan hanya mengurangi emisi CO₂ dengan menggantikan bahan bakar fosil, tetapi juga membantu mengurangi emisi CH₄ yang memiliki potensi pemanasan global 21 kali lebih besar daripada CO₂. Pembangkit listrik biogas minim emisi CO, dan risiko kebocoran gasnya rendah karena sistemnya tertutup.

Pengurangan emisi akibat substitusi bahan bakar fosil dengan pemanfaatan pembangkit listrik tenaga biogas dan pengurangan emisi akibat pembakaran gas metana dengan pemanfaatan pembangkit listrik tenaga biogas adalah sebesar 354,075 tCO₂/tahun kondisi minimum, 618,894 tCO₂/tahun kondisi maksimum hasil dari estimasi total. Gambar 8 memperlihatkan pengurangan emisi dengan PLTS, menunjukkan bahwa pemasangan PLTS dapat mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga fosil. PLTS dapat mengurangi emisi CO₂ hingga 457,6 tCO₂ atau 18,30 tCO₂/tahun, memberikan dampak positif dalam mengurangi jejak karbon dari sumber energi.



Gbr. 8 Analisis reduksi emisi

V. PENUTUP

Sebagai penutup, dapat disimpulkan bahwa perencanaan pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis biogas dan panel surya di Kelompok Ternak Sukamaju II memiliki prospek yang sangat menjanjikan, baik dari aspek teknis, ekonomis, maupun lingkungan. Penggunaan sumber energi terbarukan ini tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan energi secara efisien, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca yang signifikan.

Dengan ketersediaan bahan baku yang melimpah, teknologi yang sesuai, dan analisis ekonomi yang menunjukkan keuntungan jangka panjang, proyek ini dapat menjadi langkah strategis untuk mendukung transisi energi bersih di Indonesia. Proyek ini merupakan contoh nyata bagaimana pemanfaatan teknologi dapat selaras dengan upaya pelestarian lingkungan dan pemberdayaan komunitas lokal.

Harapannya, model pembangkit listrik hybrid ini dapat diimplementasikan secara lebih luas, sehingga mampu menjadi bagian dari solusi energi masa depan yang

berkelanjutan dan berdampak positif bagi masyarakat serta lingkungan. Seluruh pihak diharapkan dapat berkolaborasi untuk mewujudkan visi energi terbarukan ini secara lebih optimal.

REFERENSI

- [1] A. T. Widiensyah, A. B. Rahayu, "Pemberdayaan Peternak Melalui Pembuatan Biogas Sebagai Solusi Limbah Kotoran Ayam Ras Petelur," *Dimas: Jurnal Pemikiran Agama untuk Pemberdayaan*, vol. 19, no. 2, November 2009.
- [2] B. R. Saragih, "Analisis Potensi Biogas untuk Menghasilkan Energi Listrik dan Thermal pada Gedung Komersil di Daerah Perkotaan," Universitas Indonesia, Jakarta, 2010.
- [3] S. Rahayu, dkk., "Pemanfaatan Kotoran Ternak Sapi Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Beserta Aspek Sosio Kulturalnya," *INOTEK*, vol. 13, No. 2, pp. 150-160, 2008.
- [4] I .W.G.A. Anggara, I.N.S. Kumara, I.A.D. Giriantari, "Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 KW di Universitas Udayana Bukit Jimbaran," *E-Journal SPEKTRUM*, vol. 1 No 1, pp. 118-122, Desember 2014.
- [5] J. pradiyo, B. Winardi, and A. Nugroho, "Evaluasi dan Optimasi Sistem Off Grid Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Plth) Bayu Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, no. 3, pp. 557-564, Nov. 2015.
- [6] S. Deny, M. M. Ali "Pengaruh Temperatur / Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin (Studi Kasus : Baristand Industri Surabaya)," *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, vol. 2, no. 1, pp. 49-52 November 2016
- [7] P. Melda, S. N. Hutagalung, "Prototype Rangkaian Inverter DC ke AC 900 Watt," *Jurnal Pelita Informatika*, Volume 16, Nomor 3, Juli 2017.
- [8] KEMENTERIAN ESDM, Juni 2012. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia>.