

Analysis of Fuel Usage in Biogas Power Plant at PT. Berkas Sawit Sukamaju Palembang

Kurniawan Putra^{1*)}, Rahmian², Muhammad Erpandi Dalimunthe³

¹²³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan
Jl. Gatot Subroto No.km, Simpang Tj., Kec. Medan Sunggal, Kota Medan, Sumatera Utara 20122, Indonesia
email: kurniawanputra1213@gmail.com, rahmian@dosen.pancabudi.ac.id, erpandi@dosen.pancabudi.ac.id

Abstract — PT Berkas Sawit Sukamaju is an oil palm processing plant with a capacity of 45 tonnes/hour which requires electrical energy in processing FFB into CPO, so far the energy used comes from diesel and steam power plants. However, problems arise when the price of industrial diesel as diesel fuel increases and the selling value of shells as biomass turbine fuel increases, therefore PT. Berkas Sawit Sukamaju built a biogas power plant with a capacity of 3x1 MW. Biogas power plant (PLTBg) is a power plant that is fuelled by methane gas from liquid waste / POME factory, but it is necessary to know the efficiency of the use of methane gas fuel used whether it is effective or not so that the energy produced can be optimal. This study was conducted to analyse the use of fuel in the biogas power plant at PT Berkas Sawit Sukamaju so that the efficiency of fuel use and the economic value of the company after the biogas plant operates can be known. Using the quantitative method, it can be seen that the fuel efficiency is 40.09% and PT. Berkas Sawit Sukamaju gets a profit of Rp. 295,760,320 / month from saving the use of shells and diesel.

Abstrak – PT Berkas Sawit Sukamaju merupakan pabrik pengolahan kelapa sawit dengan kapasitas 45 ton/jam yang membutuhkan energi listrik dalam mengolah TBS menjadi CPO, selama ini energi yang digunakan berasal dari PLTD dan PLTU. Namun permasalahan muncul ketika harga solar industri sebagai bahan bakar solar meningkat dan nilai jual cangkang sebagai bahan bakar turbin biomassa meningkat, oleh karena itu PT. Berkas Sawit Sukamaju membangun PLTBg dengan kapasitas 3x1 MW. Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) merupakan pembangkit listrik yang berbahan bakar gas metana yang berasal dari limbah cair pabrik/POME, namun perlu diketahui efisiensi penggunaan bahan bakar gas metana yang digunakan apakah efektif atau tidak agar energi yang dihasilkan dapat optimal. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penggunaan bahan bakar pada PLTBg di PT Berkas Sawit Sukamaju sehingga dapat diketahui efisiensi penggunaan bahan bakar dan nilai ekonomi perusahaan setelah PLTBg beroperasi. Dengan menggunakan metode kuantitatif dapat diketahui bahwa efisiensi bahan bakar sebesar 40,09% dan PT. Berkas Sawit Sukamaju mendapat keuntungan sebesar Rp. 295.760.320/bulan dari penghematan pemakaian cangkang dan solar.

Kata Kunci : Pabrik Biogas; Efisiensi; Bahan Bakar.

***) penulis korespondensi:** Kurniawan Putra

Email: kurniawanputra1213@gmail.com

I. PENDAHULUAN

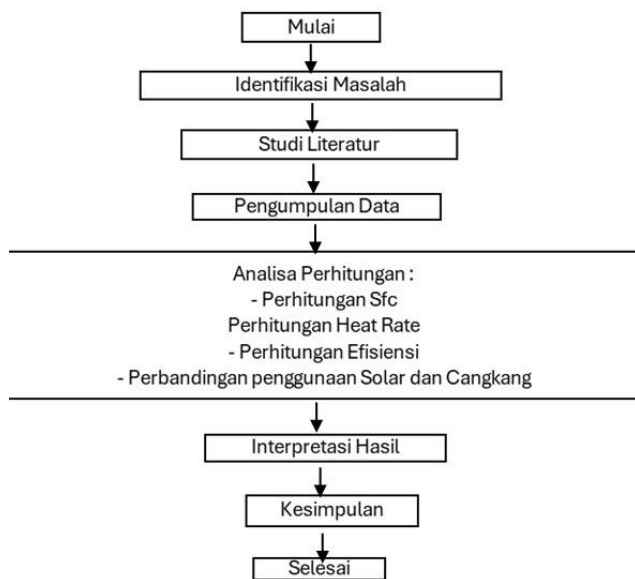
Perkembangan Teknologi Industri Pengolahan Kelapa Sawit di Indonesia saat ini semakin pesat, hal ini dikarenakan Indonesia merupakan penghasil minyak CPO terbesar di dunia. PT. Berkas Sawit Sukamaju merupakan Perusahaan pengolahan TBS / Buah Kelapa Sawit menjadi minyak CPO yang berada di Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan yang dalam prosesnya memerlukan sumber energi listrik untuk mengolah TBS menjadi minyak CPO.[1] Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan sehari – hari.[2] Seperti

Energi Listrik yang sangat dibutuhkan oleh pabrik pengolahan dan juga Masyarakat untuk memenuhi kebutuhan unit pengolahan kelapa sawit dan juga kegiatan sehari – hari.[3] Pada era digitalisasi saat ini energi terbarukan merupakan salah satu energi yang sangat berpotensi untuk dikembangkan seperti potensi energi matahari[4] maupun energi yang berasal dari limbah cair pabrik. Selama ini energi listrik yang digunakan berasal dari pembangkit sendiri seperti PLTU yang berbahan bakar Biomass (Cangkang dan Fiber) dan juga Geset / PLTD yang berbahan bakar solar. Energi tersebut dihasilkan oleh 1 unit Turbin Uap berbahan bakar biomassa cangkang dan fiber kapasitas 1.200 kW dan 2 unit Diesel berbahan bakar solar dengan masing2 kapasitas 500 kW. Permasalahan muncul ketika biaya solar industri yang naik sekitar Rp. 10.600 /liter serta cangkang yang mempunyai nilai ekonomis / nilai jual yang lumayan dipasar nasional ataupun internasional yaitu sekitar Rp. 1085 / Kg. Selain dari sisi ekonomi tersebut dari sisi lingkungan pabrik kelapa sawit saat ini masih menjadi perhatian dunia terutama Uni Eropa terkait hal Sustainability terutama Efek Gas Rumah Kaca yang dihasilkan.

Hal ini membuat PT. Berkas Sawit Sukamaju melakukan inovasi dan efisiensi terhadap masalah2 yang timbul tersebut dengan memasang instalasi pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) dengan kapasitas 3x1 MW yang berbahan bakar gas metana yang berasal dari limbah cair pabrik. Limbah cair yang selama ini dibuang ke badan air sekarang dimanfaatkan oleh PT. Berkas Sawit Sukamaju untuk menghasilkan energi baru terbarukan. Biogas merupakan gas metana yang yang dihasilkan dari fermentasi bahan organik oleh bakteri anaerob yang terdapat pada kolam limbah pabrik kelapa sawit.[5] Biogas sangat berpotensi sebagai sumber energi terbarukan, hal ini dikarenakan tingginya kandungan gas metana (CH₄) yang memiliki nilai kalori 50 MJ/kg.[6] Biogas terdiri dari beberapa komponen gas yang antara lain berupa : Gas Metana (CH₄), gas karbondioksida (CO₂), Nitrogen (N₂), Hidrogen (H₂), Hidrogen Sulfida (H₂S), dan Oksigen (O₂). Namun komponen gas metana memiliki konsentrasi tertinggi 55 – 75 %.[7]. Beberapa studi terkait Pemanfaatan Potensi Gas Metana di Pabrik Kelapa Sawit telah dilakukan berupa Optimasi Operasional Pembangkit Listrik Biogas oleh (Adisastra Pengalaman Tarigan, 2019), dimana terjadi penurunan pemakaian BBM setelah dibangun pembangkit Biogas.[8] Namun belum diketahui efisiensi bahan bakar gas metana yang dihasilkan terhadap engine gas Biogas. Dalam penelitian kali ini penulis ingin meneliti efisiensi bahan bakar gas metana yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik serta penurunan pemakaian BBM solar dan biomassa cangkang pada PT. Berkas Sawit Sukamaju.

II.METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Biogas Plant PT. Berkat Sawit Sukamaju yang berlokasi di Desa Sukamaju, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Penelitian ini dilakukan secara kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan pendekatan yang menguji teori objektif dengan berfokus pada pengukuran antar variable, pengujian hipotesis serta penarikan Kesimpulan berdasarkan analisis statistik.[9] Adapun data yang diambil berupa : logsheet kerja, konsumsi bahan bakar gas engine, pemakaian solar, biomass di tanggal 19 s/d 24 Mei 2025. Penelitian difokuskan pada nilai perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik /sfc gas metan, nilai heat rate pembangkit dan nilai efisiensi gas metan serta perbandingan nilai ekonomi penggunaan cangkang, solar sebelum dan setelah Biogas Plant beroperasi. Adapun Flowchart penelitian dapat dilihat pada gambar 1. dibawah ini:



Gbr 1. Flowchart Penelitian

Pada penelitian ini diperlukan data teknis operasional Gas Engine Biogas Plant yang berasal dari logsheet kerja yang berupa konsumsi bahan bakar, pemakaian solar dan cangkang serta Daya / output energi Listrik yang dihasilkan. Data – data tersebut dibutuhkan untuk menghitung konsumsi bahan bakar spesifik / sfc, menghitung heat rate pembangkit, menghitung efisiensi gas metan yang digunakan serta mengetahui penghematan penggunaan cangkang dan solar. Data ini diambil mulai tanggal 19 s/d 24 Mei 2025. Berikut data operasional Gas Engine Biogas :

TABEL 1
DATA OPERASIONAL GAS ENGINE BIOGAS

Tanggal	Jumlah Bahan Bakar (Nm3)	LHV Gas Metan (kWh/Nm3)	Daya Keluaran (kWh)
19 Mei 2025	4761,83	9,96	18.900
20 Mei 2025	4777,49	9,96	19.300
21 Mei 2025	4298,62	9,96	17.100
22 Mei 2025	3076,09	9,96	12.200
23 Mei 2025	4625,07	9,96	18.500
24 Mei 2025	3794,39	9,96	15.200

*LHV Gas Metan = 964 Btu/ft3 konversi ke kWh/Nm3 = 9.96 kWh/Nm3[10]

Engine Gas yang digunakan PT. Berkat Sawit Sukamaju adalah Jenbacher J 320 GS dengan kapasitas 1100 KW/unit. Engine Jenbacher J 320 GS berbahan bakar gas metan dengan efisiensi 46.4% yang tertera di manual booknya. Engine Jenbacher J 320 GS memiliki kecepatan 1500 rpm dengan output keluaran daya yang dapat mencapai 1000 – 1155 KW. Engine Jenbacher J 320 GS dirancang untuk dapat mengkonversi gas menjadi energi Listrik dengan biaya operasional yang murah sesuai dengan tingkat servis preventive maintainancenya yang lebih panjang dibandingkan dengan Gas Engine sejenisnya. Engine Jenbacher J 320 GS memiliki kontrol pembakaran yang baik serta hasil emisi yang rendah dibawah standart baku mutu lingkungan yang ditetapkan pemerintah. Engine Jenbacher J 320 GS dapat beroperasi pada kandungan metana 70 – 94 %, dengan tekanan gas pada bahan bakar yang dapat mencapai sekitar 0.5 – 10 bar. Gas Engine Jenbacher J 320 GS juga dilengkapi dengan sistem control canggih yang dapat mengatur berbagai jenis parameter pembakaran seperti suhu, tekanan serta komposisi gas.

TABEL 2
DATA MESIN GAS ENGINE JENBACHER J 320 GS

Module Data	Satuan	Hasil
Engine Type		J320 GS
Electrical Output	kW el.	1.063
Nominal Speed	Rpm	1.500
Energy input	kW	2.605
Thermal Efficiency	%	46,4
No.of Cylinders		20
Mean piston speed	m/s	8,5

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

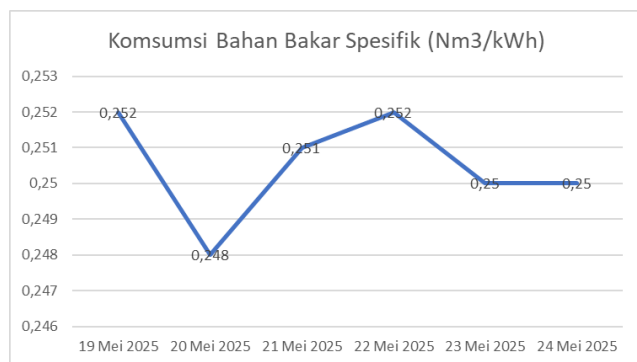
Hasil Analisa Perhitungan Komsumsi Bahan Bakar Spesifik / SFC Gas Metan

Hasil dari perhitungan Sfc Gas Metan cukup baik, Dimana rata – rata nilai Sfc berada pada 0,250 Nm3/kWh, ini menunjukkan bahwa nilai konsumsi bahan bakar yang rendah, dikarenakan semakin rendah nilai SFC maka nilai konsumsi bahan bakar yang diperlukan gas engine juga rendah. Berikut tabel perhitungan Sfc pada tanggal 19 s/d 24 Mei 2025 :

TABEL 3
HASIL PERHITUNGAN SFC

Tanggal	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Nm3/kWh)
19 Mei 2025	0,252
20 Mei 2025	0,248
21 Mei 2025	0,251
22 Mei 2025	0,252
23 Mei 2025	0,250
24 Mei 2025	0,250
Rata – rata	0,250

Dari data Komsumsi Bahan Bakar Spesifik pada table diatas maka dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Gbr 2. Grafik Komsumsi Bahan Bakar Spesifik

Dari grafik diatas terlihat nilai komsumsi bahan bakar tertinggi terjadi pada tanggal 19 dan 22 Mei 2025 yaitu 0,252 Nm³/kWh, sedangkan nilai komsumsi bahan bakar terendah terjadi pada tanggal 20 Mei 2025 yaitu 0,248 Nm³ / kWh. Secara umum hasil rata – rata komsumsi bahan bakar gas metan untuk gas engine berada pada 0.250 Nm³ / kWh.

Hasil Analisa Perhitungan Heat Rate

Berdasarkan data operasional gas engine pada tabel 1 dan sesuai dengan rumus perhitungan heat rate pada persamaan (2) diatas didapatkan hasil heat rate rata – rata berkisar 2,49 btu/kWh. Berikut tabel perhitungan Heat Rate pada tanggal 19 s/d 24 Mei 2025 :

TABEL 4
HASIL PERHITUNGAN HEAT RATE

Tanggal	Heat Rate (btu/kWh)
19 Mei 2025	2,51
20 Mei 2025	2,47
21 Mei 2025	2,50
22 Mei 2025	2,51
23 Mei 2025	2,49
24 Mei 2025	2,49
Rata – rata	2,49

Dari perhitungan heat rate pada tabel 4 diatas diperoleh nilai heat rate terendah terjadi pada tanggal 20 Mei 2025 dengan nilai 2,47 btu/kWh dan nilai heat rate tertinggi terjadi pada tanggal 22 Mei 2025 dengan nilai 2,51 btu/kWh. Besar kecilnya nilai heat rate suatu pembangkit akan mempengaruhi nilai efisiensi bahan bakar yang digunakan, bila nilai heat rate tinggi maka nilai efisiensi bahan bakar yang digunakan rendah begitu pula sebaliknya bila nilai heat rate pembangkit rendah maka nilai efisiensi bahan bakar tinggi.

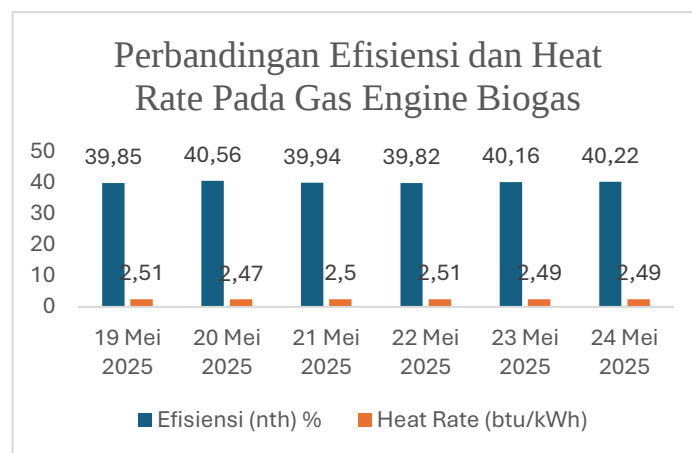
Hasil Analisa Perhitungan Efisiensi Gas Metan

Berdasarkan data operasional gas engine pada tabel 1. Dan sesuai dengan rumus perhitungan efisiensi thermal gas metan pada persamaan (3) maka didapatkan nilai efisiensi gas metan rata – rata 40.09 %. Berikut tabel perhitungan Efisiensi Gas Metan pada tanggal 19 s/d 24 Mei 2025 :

TABEL 5
HASIL PERHITUNGAN EFISIENSI GAS METAN

Tanggal	Effisiensi (nth) %
19 Mei 2025	39,85
20 Mei 2025	40,56
21 Mei 2025	39,94
22 Mei 2025	39,82
23 Mei 2025	40,16
24 Mei 2025	40,22
Rata – rata	40,09

Dari data perhitungan Heat Rate pada tabel 4 dan Perhitungan Efisiensi Energi Gas Metan pada table 5 diatas maka dapat dibuat grafik perbandingannya sebagai berikut :



Gbr 3. Grafik Efisiensi dan Heat Rate

Pada grafik diatas terlihat bahwa nilai efisiensi gas metan tertinggi terjadi pada tanggal 20 Mei 2025 sebesar 40,56 % dengan nilai heat rate sebesar 2,47 btu/kWh. Dan nilai efisiensi terendah terjadi pada tanggal 22 Mei 2025 sebesar 39,82 % dengan nilai heat rate sebesar 2,51 btu/kWh sehingga dapat disimpulkan bila nilai heat rate gas engine semakin besar maka nilai efisiensi gas yang dihasilkan semakin kecil, begitu pula sebaliknya bila nilai heat rate kecil maka efisien gas metan yang dihasilkan semakin besar, nilai heat rate pembangkit bertolak belakang dengan nilai efisiensi gas metan yang dihasilkan.

Perbandingan Penggunaan Solar dan Biomass Cangkang

Sebelum menggunakan Biogas Plant. PT. Berkat Sawit Sukamaju menggunakan Turbin Uap dan genset sebagai penghasil sumber energi Listrik, Dimana diperlukan bahan bakar biomass cangkang dan solar sebagai bahan bakarnya. Setelah dibangun Biogas Plant maka penggunaan cangkang dan solar menurun drastis bahkan solar hanya digunakan sebagai pemanas genset yang hanya dipakai sekitar 20 liter dalam sebulan. Untuk cangkang setelah dibangun Biogas Plant cangkang tidak digunakan lagi untuk bahan bakar Boiler. Cangkang yang dihasilkan semuanya dijual ke pihak ketiga.

Adapun data pemakaian cangkang dan solar PT. Berkat Sawit Sukamaju tahun 2024 (sebelum Biogas Plant beroperasi) antara lain :

TABEL 6
DATA PEMAKAIAN BIOMASS CANGKANG DAN SOLAR PT.
BERKAT SAWIT SUKAMAJU TAHUN 2024

Bulan	Biomass Cangkang (TON)	Solar (liter)
Januari	232	8.300
Februari	153	5.401
Maret	153	6.400
April	225	4.600
Mei	307	2.800
Juni	245	4.350
Juli	303	3.600
Agustus	324	2.200
September	367	1.100
Oktober	285	1.200
November	212	1.540
Desember	171	1.700

Sumber : PT. Berkat Sawit Sukamaju

TABEL 7
DATA PEMAKAIAN BIOMASS CANGKANG DAN SOLAR PT.
BERKAT SAWIT SUKAMAJU TAHUN 2025 (TODATE MEI 2025)

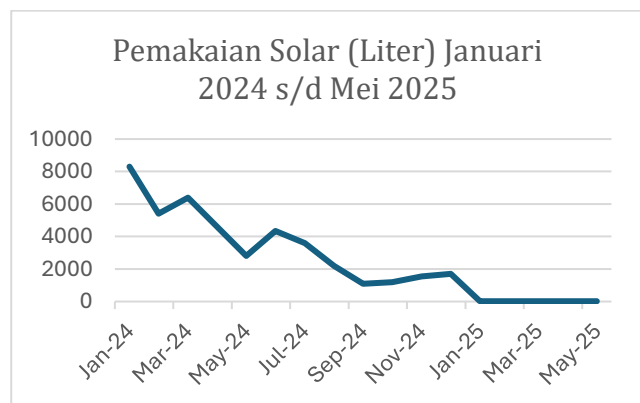
Bulan	Cangkang (TON)	Solar (Liter)	Penghematan Cangkang (TON)	Penghematan Solar (Liter)	Penghematan Cangkang (Rp)	Penghematan Solar (Rp)
Januari	0	20	232	8280	251.720.000	96.048.000
Februari	0	20	153	5381	166.005.000	62.419.600
Maret	0	20	153	6380	166.005.000	74.008.000
April	0	20	225	4580	244.125.000	53.128.000
Mei	0	20	307	2780	333.095.000	32.248.000
Total	0	100	1070	27.401	1.160.950.000	317.851.600

Note : Biaya pembelian solar industri : Rp.16.200 / liter

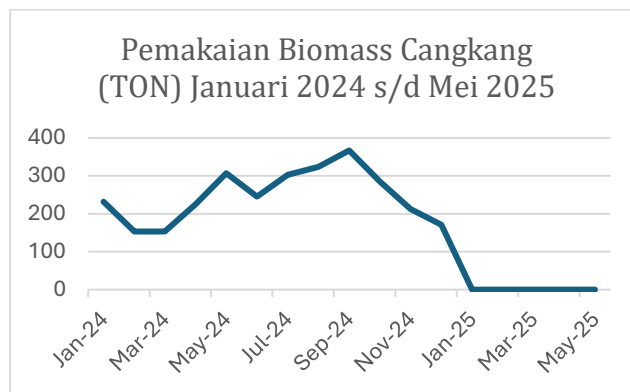
Biaya penjualan cangkang : Rp.1085 / kg

Sumber : PT. Berkat Sawit Sukamaju

Dari data pemakaian biomass cangkang dan solar tahun 2024 (tabel 6) dan data pemakaian biomass cangkang dan solar todate mei 2025 (tabel 7) maka dapat dibuatkan grafik perbandingannya berikut ini :



Gbr 4. Grafik Pemakaian Solar Periode Jan 2024 s/d Mei 2025



Gbr 5. Grafik Pemakaian Biomass Cangkang Periode Jan 2024 s/d Mei 2025

Dari hasil perbandingan data pemakaian cangkang dan solar pada grafik 3 dan 4 diatas, maka dapat dilihat trend penurunan pemakaian cangkang dan solar secara drastis setelah Biogas Plant beroperasi pada Bulan Januari 2025, dan dari selisih pemakaian januari – mei 2024 diatas dapat juga kita ketahui PT. Berkat Sawit Sukamaju dapat menghemat pemakaian cangkang sebanyak 27.401 TON senilai Rp. 1.160.950.000,- (biaya cangkang = Rp.1085 / kg) dan pemakaian solar 1070 liter senilai Rp. 317.851.600,- (biaya solar industri = Rp.16.200 / liter). Selama 5 Bulan PT. Berkat Sawit Sukamaju dapat melakukan penghematan pemakaian cangkang dan solar dengan total Rp. 1.478.801.600,-, bila dirata2kan perbulan maka PT. Berkat Sawit Sukamaju mendapatkan keuntungan Rp. 295.760.320,-/bulan, dari penghematan penggunaan cangkang dan solar.

IV.KESIMPULAN

- Perhitungan rata-rata konsumsi bahan bakar spesifik / ratio bahan bakar selama 5 hari yaitu sebesar 0.250 Nm³/kWh. Nilai SFC terbesar ada pada tanggal 19 dan 22 Mei 2025 yakni bernilai 0.252 Nm³/kWh, sedangkan SFC terkecil didapatkan pada tanggal 20 Mei 2025 yaitu sebesar 0,248 Nm³/kWh. Perhitungan rata – rata nilai efisiensi bahan bakar selama 5 hari yaitu sebesar 40,09 %. Nilai Efisiensi terbesar ada pada tanggal 20 Mei 2025 yaitu sebesar 40,56 % dengan heat rate 2,47 btu/kWh, sedangkan nilai efisiensi terkecil ada pada tanggal 22 Mei 2025 yaitu sebesar 39,82 % dengan heat rate 2,51 btu/kWh. Tinggi rendah nya nilai Efisiensi yang didapat, dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kandungan H₂S dalam Gas metan yang dapat mempengaruhi ratio bahan bakar, filter mesin yang kotor, dan preventive maintenance yang tidak rutin dilaksanakan. Bila dilihat dari manual book Gas Engine Jenbacher J 320 GS didapatkan nilai Efisiensi Bahan Bakar / Thermal maksimal berada pada 46,4 %. Sehingga perlu dilakukan pengecekan, pemeliharaan dan perbaikan secara berkala terhadap Gas Engine agar hasil efisiensi yang didapat bisa lebih baik lagi dan bahkan dapat mencapai nilai maksimalnya.
- Pemakaian bahan bakar cangkang dan solar menurun drastis setelah Biogas Plant di PT. Berkat Sawit Sukamaju beroperasi pada Bulan Januari 2025. Hal ini terlihat dari penghematan penggunaan cangkang yang mencapai 1070 Ton dan solar 27.401 liter dalam lima Bulan, bila disesuaikan dengan harga jual cangkang dan solar maka dapat mencapai Rp. 1.160.950.000 atau sekitar Rp. 295.760.320 / bulan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Prabowo, Z. Lubis, and Z. Tharo, "Studi Analisis Pemanfaatan Tenaga Listrik Di Pabrik Kelapa Sawit," *J. Serambi Eng.*, vol. IX, no. 4, pp. 10444–10450, 2024, [Online]. Available: <https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/377>
- [2] K. R. Saputra, I. P. S. Arsa, and I. G. Ratnaya, "Pengembangan Media Pembelajaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Mata Kuliah Pembangkit Listrik di Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro," *J. Pendidik. Tek. Elektro Undiksha*, vol. 9, no. 3, pp. 193–202, 2020, doi: <https://doi.org/10.23887/jjpte.v9i3.23650>.
- [3] A. W. Akbar, N. Hiron, and N. Nadrotan, "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Dengan Sumber Energi Terbarukan (Homer) Di Daerah Pesisir Pantai Pangandaran," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 12–18, 2019, doi: [10.37058/jeee.v1i1.1191](https://doi.org/10.37058/jeee.v1i1.1191).
- [4] R. Dimas Yudho Wibowo, Dino Erivianto, "Analisis Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif CCTV Terintegrasi Dengan Smartphone," *J. Electr. Siystem Control Eng.*, vol. 8, no. No.2 (2025), 2025, doi: [10.31289/jesce.v6i2.14179](https://doi.org/10.31289/jesce.v6i2.14179).
- [5] Paniran, Rosmaliati, and A. Natsir, "Biogas untuk Menghasilkan Energi Listrik," *Dielektrika*, vol. 10, no. 2, pp. 118–126, 2023, doi: [10.29303/dielektrika.v10i2.355](https://doi.org/10.29303/dielektrika.v10i2.355).
- [6] Y. Tengker, G. M. C. Mangindaan, and M. Rumbayan, "Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) Di Universitas Sam Ratulangi," *Repos. Unsrat*, pp. 1–11, 2022, [Online]. Available: <http://repo.unsrat.ac.id/id/eprint/3580>
- [7] R. J. Togelang, M. Rumbayan, and G. Mangindaan, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Skala Kecil Di Desa Kiama Talaud," *Univ. Samratulangi Repos.*, 2022, [Online]. Available: <http://repo.unsrat.ac.id/id/eprint/3624>
- [8] A. P. Tarigan, "Optimasi Operasional Pembangkit Listrik Biogas PTPN 5," *Maj. Ilm. Politek. Mandiri Bina Prestasi*, vol. 8, no. 2, pp. 92–99, 2019, [Online]. Available: <https://www.politeknikmbp.ac.id/direktori/category/55-volume-8-2.html?download=457:optimasi-operasional-pembangkit-listrik-biogas-ptpn-5>
- [9] J. H. Yam, "JURNAL EMPIRE Refleksi Penelitian Metode Campuran," *J. Emp.*, vol. 2, no. 2, pp. 126–134, 2022, doi: [10.33592/empire.v2i2.3310](https://doi.org/10.33592/empire.v2i2.3310).
- [10] A. A. P. Susastriawan and H. Saptoadi, "Effect of Air Supply Location and Equivalence Ratio on Thermal Performance of Downdraft Gasifier Fed by Wood Sawdust," *J. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, vol. 11, no. 1, Mar. 2023, doi: [10.13044/j.sdewes.d10.0435](https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d10.0435).
- [11] A. Purba and U. Situmeang, "Studi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Dari Limbah Kelapa Sawit Di PT . Inti Indo sawit Subur SP 5 Siak," *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 8, no. 2, pp. 90–98, 2024.
- [12] T. M. Rizki, M. Ismail Yusuf, A. Hiendro, K. Hie Kwee, and J. Elektro, "ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) KETAPANG 2×10 MW," *J. Untan*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: <https://doi.org/10.26418/j3eit.v10i2.57053>.
- [13] I. Nanda Kumara, K. Hie Khwee, J. Teknik Elektro, F. Teknik, and U. H. Tanjungpura Jln Hadari Nawawi, "STUDI PENGARUH HEAT RATE TERHADAP KINERJA PADA PLTU BIOMASSA DI PT. HARJOHN TIMBER," *J. Untan*, p. 10, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/j3eituntan/article/view/48817>
- [14] A. Syahidin, S. Setiawidayat, and S. Ali Putra, "Analisis Efisiensi Thermal Untuk Menentukan Beban Optimal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Menggunakan Metode Siklus Brayton," *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 02, pp. 1–15, Feb. 2021, doi: [10.31328/jasee.v1i02.24](https://doi.org/10.31328/jasee.v1i02.24).
- [15] S. K. Bau Puspa Ratu, Zulhajji, "STUDI PERUBAHAN BEBAN LISTRIK TERHADAP EFISIENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS (PLTG) PT.PLN (PERSERP) WILAYAH SULAWESI SELATAN," *J. Online Pendidik. Tek. Elektro*, pp. 123–141, 2021, [Online]. Available: <http://eprints.unm.ac.id/id/eprint/20388>
- [16] J. Jamal, C. Bhuana, and F. Alihar, "Analisis Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto," *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 18, no. 1, pp. 20–28, 2020, doi: [10.31963/sinergi.v18i1.2233](https://doi.org/10.31963/sinergi.v18i1.2233).