

Gasification and Techno-Economic Study of Palm Shell Biomass and the Utilization of Dual Fuel Diesel Engine Operated Diesel Engine

Hasman Hasan Suli¹, Bambang Sudarmanta²

Institut Teknologi Sepuluh Nopember^{1,2}

hsnsuli@gmail.com¹, sudarmanta@me.its.ac.id²

ABSTRACT

Indonesia's oil reserves and production are steadily declining, accompanied by increasing fossil fuel consumption, particularly in Diesel Power Plants, which contribute to environmental impacts and exacerbate global warming. In response, the government issued a policy in 2028 to implement carbon emission trading for Diesel Power Plants with a capacity below 2 MW, as part of Indonesia's commitment to achieving Net Zero Emission (NZE) by 2060. Considering the significant state assets in the form of diesel-powered generators (approximately 5,200 diesel power plants) still operating throughout Indonesia, the government has also issued policies and strategic plans to develop Biomass Power Plants. This research focuses on examining the combination of biosolar B35 and syngas usage in diesel engines, known as dual fuel engine technology, utilizing abundant palm shell biomass waste in Southeast Sulawesi. The gasification process to create syngas uses a multi-stage downdraft gasifier system with the optimal air ratio variation from previous research, namely 1:7:2 in the pyrolysis, oxidation, and reduction zones. Testing is conducted on a diesel engine at 3000 rpm with load variations ranging from 500 Watt to 4500 Watt. The load is gradually increased at 500-Watt intervals. The syngas mass flow rate is also varied by adjusting four different syngas valve openings to the diesel engine's intake manifold. This study will compare the results of diesel engine operation using single fuel (biosolar B35) with dual fuel (biosolar B35 + syngas) at each engine load interval to determine engine performance, biosolar B35 fuel substitution or savings, carbon reduction in the dual fuel diesel system, and calculate the techno-economics for up-scaling on a 250 kW capacity engine at PT Nusantara Power, Unit Pembangkitan Kendari, ULPLTD Kolaka, Southeast Sulawesi. The aim is to support government programs and policies in realizing environmentally friendly and sustainable Diesel Power Plants, as well as to open opportunities for developing biomass-based dual fuel engine technology in Indonesia.

Keywords: *Gasification, Dual Fuel Diesel Power Plant, Biomass, Net Zero Emission, Palm Kernel Shells, Dual Fuel Engine, Syngas, Fuel Savings, Carbon Emissions, Techno-Economic Analysis.*

ABSTRAK

Cadangan dan produksi minyak bumi Indonesia kian menipis, diiringi dengan konsumsi bahan bakar fosil yang terus meningkat, terutama pemakaian pada mesin Pembangkit Listrik Tenaga Diesel yang ikut memberi dampak pada lingkungan dan memperparah pemanasan global, membuat pemerintah mengeluarkan kebijakan di tahun 2028 untuk mengimplementasikan perdagangan emisi karbon pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dengan daya mampu dibawa 2 MW sebagai komitmen atas keikutsertaan Indonesia terhadap tercapainya Net Zero Emission (NZE) pada tahun 2060. Mengingat besarnya aset negara dalam bentuk mesin pembangkit bertenaga diesel (sekitar 5.200 PLTD) yang masih beroperasi di seluruh wilayah Indonesia, pemerintah juga mengeluarkan kebijakan dan rencana strategis untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa. Penelitian ini berfokus untuk mengkaji penggabungan penggunaan bahan bakar antara

biosolar B35 dan syngas pada mesin diesel yang disebut dengan teknologi dual fuel engine dengan memanfaatkan limbah sampah biomassa cangkang sawit yang melimpah di Sulawesi Tenggara. Proses gasifikasi untuk menciptakan syngas menggunakan sistem multi-stage downdraft gasifier dengan variasi air ratio terbaik dari penelitian sebelumnya, yaitu 1:7:2 pada zona pirolisis, oksidasi, dan reduksi digunakan untuk menghasilkan syngas. Pengujian dilakukan pada mesin diesel dengan putaran 3000 rpm dan variasi pembebanan mulai dari 500 Watt hingga 4500 Watt. Pembebanan dinaikkan secara bertahap dengan interval 500 Watt setiap kenaikannya. Aliran mass flow rate syngas juga divariasikan dengan mengatur 4 variasi bukaan katup syngas menuju intake manifold mesin diesel. Penelitian ini akan membandingkan hasil pengoperasian mesin diesel menggunakan single fuel (biosolar B35) dengan menggunakan dual fuel (biosolar B35 + syngas) pada setiap interval pembebanan mesin untuk mengetahui unjuk kerja mesin, Substitusi atau penghematan bahan bakar biosolar B35, penurunan karbon diesel sistem dual fuel serta menghitung techno -ekonomi untuk up-scale pada salah satu mesin dengan daya mampu 250 kW di PT Nusantara Power, Unit Pembangkit Kendari, ULPLTD Kolaka, Sulawesi Tenggara agar dapat mendukung program dan kebijakan pemerintah dalam mewujudkan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, serta membuka peluang pengembangan teknologi dual fuel engine di Indonesia berbasis biomassa.

Kata Kunci: Gasifikasi, PLTD Dual Fuel, Biomassa, Net Zero Emission, Cangkang Sawit, Dual Fuel Engine, Syngas, Penghematan Bahan Bakar, Emisi Karbon, Techno-Ekonomi

PENDAHULUAN

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Pada umumnya yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya. Di Indonesia kayu dan sekam padi merupakan biomassa yang sudah lama dikenal oleh masyarakat dan merupakan sumber energi terbarukan. Biomassa yang bersumber dari kayu antara lain: limbah penggergajian kayu, limbah plywood dan limbah logging. Selain ketersediaannya cukup banyak di Indonesia, biomassa kayu dan sekam padi juga cenderung tidak menyebabkan dampak negatif pada lingkungan.

Pemanfaatan biomassa juga dimanfaatkan sebagai proses pembakaran pirolisis sebagai bahan bakar. Pembakaran pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi termokimia yang terjadi bahan organik (biomasa) melalui proses pemanasan dengan menggunakan sedikit atau tanpa oksigen di mana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pada proses pembakaran pirolisis terdapat beberapa fase yaitu fase pengeringan; terjadi pada suhu 200°C. Fase pirolisis pada suhu 200–500°C, dan fase evolusi gas: terjadi pada suhu 500– 200°C.

Pembakaran pirolisis dapat menghasilkan produk utama yang berupa arang (char), asap cair (bio-oil) dan gas. Arang yang dihasilkan merupakan bahan bakar bernilai kalori yang tinggi ataupun digunakan sebagai karbon aktif. Asap cair yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat additive atau bahan pengawet makanan atau produk tertentu. Sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung. Gas dari pirolisis dapat dibedakan menjadi gas yang tidak dapat dikondensasi (CO, CO₂, CH₄) dan gas yang dapat dikondensasi (tar).

Pembakaran pirolisis menggunakan berbagai biomassa yang berasal dari beberapa jenis sumber tumbuhan sebagai bahan bakunya. Biomassa adalah material biologis yang berasal dari suatu kehidupan, atau organisme yang masih hidup yang berstruktur karbon dan campuran kimiawi bahan organik yang mengandung hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sejumlah kecil dari atom-atom dan elemen-elemen lainnya. Setiap biomassa memiliki karakteristik dan komposisi berbeda-beda tergantung dari jenisnya dan bentuknya. Seperti biomassa jenis sampah kelapa sawit yaitu cangkang sawit dengan tekstur keras dan memiliki nilai kalori tinggi, sekam padi yang memiliki ukuran butiran kecil dengan tekstur sedikit keras dan kadar air sedikit. Kemudian bambu dengan tekstur keras, panjang, dan sedikit air. Kemudian kulit durian dengan bijian besar, lunak, kandungan air tinggi. Pada pembakaran pirolisis akan menghasilkan produk asap cair yang berbeda pula. Asap cair yang berasal dari bahan baku yang berbeda akan menghasilkan komponen kimia yang berbeda.

Asap cair adalah bahan cairan yang berwarna kehitaman yang berasal dari biomassa seperti kayu, kulit kayu dan biomassa lainnya seperti dari limbah kehutanan dan industri hasil hutan melalui proses pirolisis yang mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen. Kandungan asam organik dalam asap cair adalah air, tetapi air tidak bersifat kontaminan seperti pada petroleum, karena air bercampur dengan asap cair. Asap cair didapat dari hasil kondensasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya. Asap cair bisa juga berarti hasil pendinginan dan pencairan asap dari biomassa yang dibakar dalam tabung tertutup. Asap cair biasanya digunakan sebagai bahan bakar atau juga sebagai pengawet makanan atau produk tertentu. Bahan baku yang banyak digunakan sekarang ini adalah kayu, bongkol dan cangkang kelapa sawit, serta ampas hasil penggergajian kayu.

Pada proses pembakaran biomassa sebagai bahan bakar, jenis dan ukuran biomassa merupakan suatu hal yang sangat penting. Hal itu dikarenakan setiap biomassa memiliki cepat bakar yang berbeda dan juga ukuran suatu biomassa akan mempengaruhi pori antar bahan bakar yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya udara yang dibutuhkan dalam pembakaran. Oleh karena itu pemilihan jenis dan ukuran biomassa sangatlah penting untuk mengoptimalkan suatu proses pembakaran, salah satunya pembakaran menyeluruh. Pembakaran menyeluruh merupakan metode pembakaran dengan memanaskan seluruh sisi reaktor pirolisis kecuali bagian penutupnya. Pemanasan seluruh sisi reaktor ini dimaksudkan untuk

lebih mengoptimalkan panas pada reaktor, sehingga proses pemanasan berlangsung merata dan diharapkan mempersingkat waktu penyulingan bahan baku. Keuntungan dari proses ini adalah lebih hematnya bahan bakar, dikarenakan bahan bakar yang digunakan yaitu limbah dari proses meubel, cangkang buah sawit dan sisa proses pabrik penggilingan padi.

Gambar 1. Limbah dan Pellet Cangkang Kelapa Sawit



Sumber: diolah oleh penulis, 2024

Limbah cangkang sawit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 di atas dapat dijadikan sebagai bahan baku biomassa, hal ini dikarenakan limbah cangkang sawit memiliki nilai *High Calorific Value* rata-rata antara 3.457 - 4232 kcal/kg. Limbah cangkang sawit dalam bentuk padat setelah dikonversi menjadi pelet, maka dapat dikonversi kembali menjadi bahan bakar gas melalui proses gasifikasi. Hasil dari proses gasifikasi ini nantinya dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada sistem pembangkit listrik yang menggunakan metode *internal combustion*, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) (Suparmin et al., 2023). Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) saat ini banyak digunakan di daerah-daerah terpencil di Indonesia yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik PLN. Namun, dengan adanya kenaikan harga minyak mentah dan pasokannya yang semakin berkurang, maka pemakaian PLTD akan semakin tidak efisien di kemudian hari. Kerugian yang ditimbulkan oleh penggunaan bahan bakar diesel pada PLTD secara kontinyu, dapat menimbulkan dampak negatif, baik dari segi ekonomis maupun lingkungan. Salah satu metode yang saat ini banyak dikembangkan yaitu sistem *Diesel Dual Fuel* (DDF).

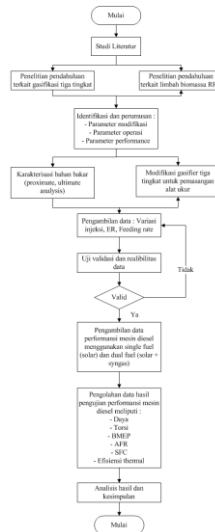
Sistem DDF ini selain lebih ramah lingkungan, juga dinilai lebih ekonomis karena mengurangi penggunaan solar pada sistem pembakarannya. Kombinasi yang digunakan untuk sistem DDF yaitu solar - *syngas* (*syntetic gas*) hasil proses gasifikasi limbah biomassa. Potensi pemanfaatan *syngas* sebagai pengganti bahan bakar minyak seperti solar, sangat besar jika diterapkan pada sistem PLTD yang ada di Indonesia. Pemanfaatan *syngas* sebagai bahan bakar pada sistem DDF sudah banyak dilakukan dengan cara mencampurkan udara, solar, dan *syngas* pada ruang bakar melalui metode *direct injection*. Aplikasi sistem DDF ini pada dasarnya untuk mengurangi penggunaan bahan bakar solar, sehingga pengurangan energi yang dihasilkan dari pembakaran dapat disubstitusi oleh *syngas* (Exoryanto & Sudarmanta, 2017). Berdasarkan uraian diatas, maka akan diteliti pemakaian biomassa cangkang

sawit menggunakan teknologi gasifikasi tiga tingkat menghasilkan syntesis gas dan selanjutnya digunakan pada mesin diesel yang dioperasikan dengan teknologi *Diesel Duel Fuel* (DDF).

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini melalui proses *flowchart* sebagai berikut:

Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Biomass based fuel – Padat

Meliputi Cangkang, Tandan kosong sawit, Limbah pertanian, MSW biomass fraction, RDF

$$E_{BM} = FBM \times NCV \times 10^3 \times FE$$

Di mana:

EBM : emisi GRK (ton)

FBM : Konsumsi biomasa padat dalam setahun (Ton)

NCV : Nilai kalor bersih biomasa padat unit pembangkit atau default IPCC (TJ/Gg)

FE : Faktor Emisi default IPCC (Ton/TJ)

Perhitungan emisi di sini diambil contoh di PLTD Kolaka dengan salah satu unit kerja, data operasional di unit SWD DRO 216K Unit 2 sebagai berikut:

B.2 SWD DRO 216K UNIT 2

B.2.1 Kondisi Operasional

1. Nama Unit Pembangkit	:	PLTD Kolaka	
2. Jumlah BBM yang Digunakan/Tahun (k.ton)	HSD	: 0.013	(104 kg/jam)
	MFO	: -	(0 kg/jam)
3. Jumlah Daya Listrik yang Dihasilkan (MWh)/Tahun	:	32	
4. Kandungan Sulfur BBM Rata-rata per Bulan (%) HSD	:	0.08%	
Kandungan Sulfur BBM Rata-rata per Bulan (%) MFO	:	2.02%	
5. Nilai Kalori Netto Bahan Bakar (TJ/kton Bahan Bakar)	:	44.15	HSD
Nilai Kalori Netto Bahan Bakar (TJ/kton Bahan Bakar)	:	45.71	MFO
6. Waktu Operasional Pembangkit per Tahun (Jam)	:	152	HSD
	:	-	MFO

B.2.2 Pemantauan Emisi Secara Manual

1. Nama Cerobong	:	SWD DRO 216K UNIT 2
2. Koordinat	E	:
	S	:
3. Dimensi Cerobong	:	
a. Diameter	:	0.3 meter
b. Panjang X Lebar	:	
c. Tinggi	:	7 meter
3. Tanggal Sampling	:	6 April 2019
4. Laboratorium Pengujian	:	PT Global Quality Analytical

B.2.5 Perhitungan Beban Emisi CO₂

1. Beban Emisi CO₂ dengan HSD

$$\begin{aligned}
 E_{CO_2(HSD)} &= \Sigma F \text{ (k.ton)} \times AcCC \text{ (ton/k.ton)} \times OF \times \frac{MW_{CO_2}}{AN_C} \\
 &= 0.013 \times 0.3 \times 0.99 \times \frac{44}{12} \\
 &= \mathbf{0.01 \text{ ton/tahun}}
 \end{aligned}$$

2. Beban Emisi CO₂ dengan MFO

$$\begin{aligned}
 E_{CO_2(MFO)} &= \Sigma F \text{ (k.ton)} \times AcCC \text{ (ton/k.ton)} \times OF \times \frac{MW_{CO_2}}{AN_C} \\
 &= - \times 1 \times 0.99 \times \frac{44}{12} \\
 &= \mathbf{0.00 \text{ ton/tahun}}
 \end{aligned}$$

3. Beban Emisi CO₂ Total (HSD+MFO) = 0.01 ton/tahun

dimana :

ECO ₂	=	Emisi CO ₂ (ton)
ΣF	=	Jumlah konsumsi Bahan bakar (kton)
AcCC	=	Kandungan karbon actual (ton C/kton)
OF	=	Faktor Oksidasi = 0,99 (untuk minyak)
MW _{CO₂}	=	Berat molekul CO ₂ (44)
AN _C	=	Berat Atom C (12)

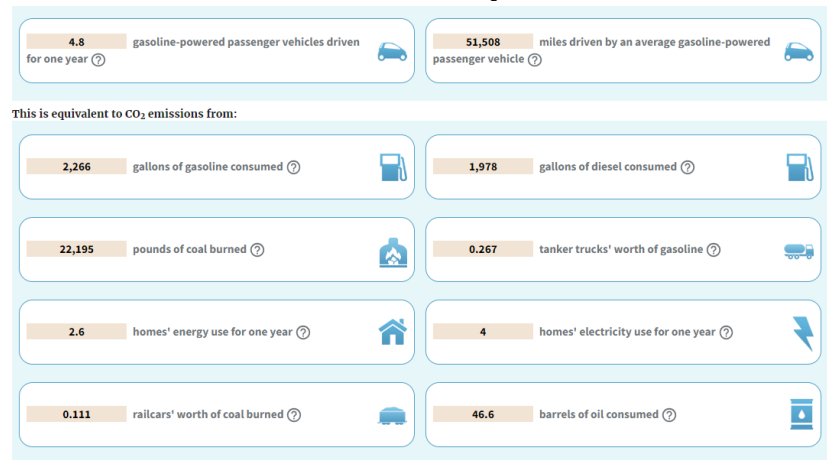
4. Beban Emisi Tahunan

$$\begin{aligned}
 E_{\text{tahunan}} &= E_{CO_2} \text{ (ton)} \times \text{Op.Hour (jam)} \\
 &= 0.01 \times 152 \\
 &= \mathbf{2.22 \text{ ton/tahun}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan emisi berdasarkan data di lapangan sebagai berikut:

Dari total 2.22 ton/tahun, jika diperhitungkan menggunakan kalkulator perdagangan karbon setara dengan 1.978 galon bahan bakar disel. Jika satu galon setara dengan 20 liter, maka 1.978 galon sama dengan 39,560 liter. Jika di Indonesia 1 liter bahan bakar disel seharga Rp 10.190, maka 39,560 liter bahan bakar disel setara dengan Rp 403,116,400. Jika syngas hasil gasifikasi bisa menggantikan bahan bakar disel 44.34%, maka perhitungannya adalah: 44.34% x 22.2ton= 9.85ton, maka bisa menghemat harga Rp 178,741,811 setiap tahun. Biaya tersebut bisa untuk biaya investasi alat gasifikasi dan pengoperasian alat gasifikasi.

Gambar 3. Tampilan



Tekno-ekonomi

Pemanfaatan biomassa cangkang sawit sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia memiliki potensi besar, terutama di daerah penghasil kelapa sawit seperti Kolaka. Cangkang sawit yang melimpah dan murah dapat diolah menjadi gas menggunakan teknologi gasifikasi, dan gas tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar PLTD.

Teknologi Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar padat (biomassa) menjadi gas sintesis (syngas) dengan menggunakan panas dan oksigen terbatas. Syngas dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk berbagai aplikasi, termasuk pembangkit listrik, transportasi, dan industri.

Tekno Ekonomi Perancangan Pembuatan Alat

Perancangan pembuatan alat gasifikasi biomassa cangkang sawit untuk PLTD Kolaka dengan kapasitas 250 kg per sekali bakar perlu mempertimbangkan beberapa aspek tekno ekonomi, antara lain:

- **Biaya investasi:** Biaya awal untuk membangun dan memasang alat gasifikasi, termasuk biaya infrastruktur, peralatan, dan sistem kontrol.
- **Biaya operasi:** Biaya yang terkait dengan operasi dan pemeliharaan alat gasifikasi, termasuk biaya bahan bakar, tenaga kerja, dan suku cadang.
- **Efisiensi:** Kemampuan alat gasifikasi untuk mengubah biomassa cangkang sawit menjadi syngas dengan efisiensi tinggi.
 - ❖ **Kualitas gas:** Kualitas syngas yang dihasilkan, termasuk kandungan metana, CO, CO₂, dan kontaminan lainnya.
 - ❖ **Dampak lingkungan:** Dampak lingkungan dari operasi alat gasifikasi, termasuk emisi gas rumah kaca dan polutan udara.
 - ❖ **Pertimbangan Teknis**
 - ❖ Beberapa pertimbangan teknis yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan alat gasifikasi biomassa cangkang sawit di PLTD Kolaka:

- ❖ **Jenis gasifier:** Ada berbagai jenis gasifier yang tersedia, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya sendiri. Jenis gasifier yang dipilih harus sesuai dengan karakteristik biomassa cangkang sawit dan kebutuhan PLTD.
- ❖ **Kapasitas gasifier:** Kapasitas gasifier harus sesuai dengan kebutuhan energi PLTD.
- ❖ **Desain gasifier:** Desain gasifier harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti efisiensi, kualitas gas, dan emisi.
- ❖ **Sistem kontrol:** Sistem kontrol harus digunakan untuk mengoptimalkan operasi gasifier dan memastikan keselamatan.

Analisis Kelayakan Ekonomi

Analisis kelayakan ekonomi perlu dilakukan untuk menentukan apakah proyek pembangunan alat gasifikasi biomassa cangkang sawit di PLTD Kolaka layak secara ekonomi. Analisis ini harus mempertimbangkan semua biaya dan pendapatan yang terkait dengan proyek, termasuk:

- **Biaya investasi:** Biaya awal untuk membangun dan memasang alat gasifikasi.
- **Biaya operasi:** Biaya yang terkait dengan operasi dan pemeliharaan alat gasifikasi.
- **Pendapatan dari penjualan syngas:** Pendapatan yang diperoleh dari penjualan syngas ke PLTD.
- **Penghematan biaya bahan bakar:** Penghematan biaya bahan bakar yang diperoleh dari penggunaan syngas sebagai bahan bakar PLTD.
- **Manfaat lingkungan:** Manfaat lingkungan yang diperoleh dari pengurangan emisi gas rumah kaca dan polutan udara.

Biaya penawaran alat gasifikasi

No	Nama barang	Qty	Harga Satuan	Total Harga
1	Reaktor	1	Rp 165,300,000	Rp 165,300,000
2	Cyclone	1	Rp 13,250,000	Rp 13,250,000
3	Water Scrubber	1	Rp 29,750,000	Rp 29,750,000
4	Tabung Filter	1	Rp 18,500,000	Rp 18,500,000
5	Pemipaan	1	Rp 8,500,000	Rp 8,500,000
Total				Rp 235,300,000

Biaya Operasional dalam 1 tahun

No	Nama barang	Qty	Harga Satuan	Total Harga
1	Bahan baku	1	Rp 19,670,400	Rp 19,670,400
2	Investasi alat	1	Rp 235,300,000	Rp 235,300,000
3	Operator	1	Rp 173,157,840	Rp 173,157,840
4	Perawatan alat	1	Rp 23,530,000	Rp 23,530,000
5	Kondisional	1	Rp 10,000,000	Rp 10,000,000

Total	Rp 461,658,240
--------------	-----------------------

Analisis Kelayakan Ekonomi

Analisis kelayakan ekonomi perlu dilakukan untuk menentukan apakah proyek pembangunan alat gasifikasi biomassa cangkang sawit di PLTD Kolaka layak secara ekonomi. Analisis ini harus mempertimbangkan semua biaya dan pendapatan yang terkait dengan proyek, termasuk:

- **Biaya investasi:** Biaya awal untuk membangun dan memasang alat gasifikasi.
- **Biaya operasi:** Biaya yang terkait dengan operasi dan pemeliharaan alat gasifikasi.
- **Pendapatan dari penjualan syngas:** Pendapatan yang diperoleh dari penjualan syngas ke PLTD.
- **Penghematan biaya bahan bakar:** Penghematan biaya bahan bakar yang diperoleh dari penggunaan syngas sebagai bahan bakar PLTD.
- **Manfaat lingkungan:** Manfaat lingkungan yang diperoleh dari pengurangan emisi gas rumah kaca dan polutan udara.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa gasifikasi cangkang sawit merupakan salah satu alternatif yang potensial untuk menghasilkan gas sintesis yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar tambahan pada mesin diesel. Pemanfaatan dual fuel engine dengan kombinasi gas sintesis dari gasifikasi cangkang sawit dan solar dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi gas buang tertentu. Kajian tekno ekonomi menunjukkan bahwa penggunaan sistem ini memiliki potensi untuk memberikan keuntungan ekonomis dalam jangka panjang, terutama jika mempertimbangkan aspek lingkungan dan ketersediaan bahan baku lokal.

Kualitas gas sintesis: Analisis terhadap komposisi gas sintesis yang dihasilkan akan memberikan gambaran mengenai kandungan energi dan potensi korosivitas gas tersebut.

Efisiensi pembakaran: Perbandingan efisiensi pembakaran pada kondisi dual fuel dengan kondisi menggunakan solar murni akan menunjukkan peningkatan efisiensi yang diperoleh.

Emisi gas buang: Pengukuran emisi gas buang seperti NO_x, SO_x, dan partikulat akan menunjukkan tingkat penurunan emisi yang berhasil dicapai.

Analisis biaya: Perhitungan biaya produksi gas sintesis, biaya operasional mesin, dan pendapatan dari penjualan listrik atau panas akan memberikan gambaran mengenai kelayakan ekonomis sistem ini.

Pengembangan teknologi: Menjadi dasar pengembangan teknologi gasifikasi biomassa yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

EduInovasi: Journal of Basic Educational Studies

Vol 4 No 2 (2024) 1426 - 1436 P-ISSN 2774-5058 E-ISSN 2775-7269

DOI: 47467/eduinovasi.v4i2.4323

Penerapan industri: Diaplikasikan pada industri-industri yang membutuhkan sumber energi alternatif, seperti industri perkebunan kelapa sawit, pabrik pengolahan kayu, dan pembangkit listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Basha, M. H., Sulaiman, S. A., & Uemura, Y. (2020). Co-gasification of palm kernel shell and polystyrene plastic: Effect of different operating conditions. *Journal of the Energy Institute*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743967119308293>
- Exoryanto, D. Y., & Sudarmanta, B. (2017). Studi Eksperimen Unjuk Kerja Mesin Diesel Menggunakan Sistem Dual Fuel Solar Gas CNG Dengan Variasi Tekanan Injeksi Gas Dan Derajat Waktu Injeksi. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.20172>
- Jessie, P., Pamudji, S., Farmasi, P., Dan, F., Aman, Y., Berkhasiat, D. A. N., Jessie, P., Pamudji, S., Farmasi, P., & Dan, F. (2017). Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung. In *Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung* (Issue November).
- Kumar, S. (2020). *Experimental and numerical study of gasification and filtration process in downdraft gasifier system*. idr-lib.iitbhu.ac.in. <https://idr-lib.iitbhu.ac.in/xmlui/bitstream/handle/123456789/1484/Contents.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Siregar, U. J., Lestari, A., Rusniarsyah, L., & ... (2020). Fuel substitution by wood gasification for diesel electricity generator. *IOP Conference Series*
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/935/1/012048>
- Suparmin, P., Nurhasanah, R., Hendri, H., & Ridwan, M. (2023). Biomass for dual-fuel syngas diesel power plants. Part I: The effect of preheating on characteristics of the syngas gasification of municipal solid waste and wood pellets. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 30(1), 378–392.
<https://doi.org/10.1080/25765299.2023.2223027>