

Karakterisasi Performa Genset Diesel Menggunakan Syngas Hasil Gasifikasi Kombinasi Serbuk Kayu dan Sekam Padi Dengan Variasi Pembebanan

(Performance Characterization Of Diesel Generator Using Sawdust And Rice Husk Combined From Gasification Process With Load Variation

Muhammad Fachry Naufal¹, Slamet Wiyono², Erwin³

¹²³Laboratorium Rekayasa Energi Baru Terbarukan
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon,
Indonesia

erwin@untirta.ac.id , fachrynaufal290897@gmail.com , maswie@untirta.ac.id

Abstrak

Untuk mengatasi krisis energi yang sedang terjadi diperlukan sumber energi alternatif baru yang lebih murah, berlimpah dan dapat diperbaharui. Energi alternatif yang saat ini banyak dikembangkan ialah biomassa, dan salah satunya adalah serbuk kayu dan sekam padi. Gasifikasi biomassa khususnya di Indonesia memiliki potensi. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menguji karakteristik unjuk kerja genset diesel 5kW terhadap berbagai pembebanan dengan bahan bakar solar dan syngas dari hasil gasifikasi campuran serbuk kayu dan sekam padi. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Energi Baru Terbarukan Fakultas Teknik UNTIRTA. Penelitian ini menggunakan variasi pembebanan dengan total lampu halogen berjumlah 5,2kW. Pada penelitian ini penulis hanya menggunakan beban maksimum 3,2kW dikarenakan kondisi yang “tidak optimal” pada genset yang mengakibatkan putaran mesin menjadi tidak maksimal. Hasilnya nilai daya generator diesel pada pembebanan kecil meningkat, namun pada pembebanan tinggi mengalami penurunan.

Kata kunci: serbuk kayu dan sekam padi, energi terbarukan, gasifikasi, syngas

Abstract

To solve the current crisis of energy, alternative energy sources that cheap, abundant, and renewable are needed. Alternative energy currently being developed is biomass and palm shell is one of them. Biomass gasification especially in Indonesia has a potential. Therefore, this research aims to test performance characterization of 5kW diesel generator using syngas from sawdust and rice husk and diesel fuel against load variation. This research was done at Laboratory of Renewable Energy Engineering Faculty of UNTIRTA. This research used the load variation with halogen lamp with total 5,2kW. In This research the author only used 3,2kW of load variation because the “unstable condition” from the diesel generator that caused rotations of the engine was not maximum. Therefore the power of diesel generator with low loads were increasing but with high loads the power was going down

Keywords : gasification, renewable energy, sawdust and rice husk, syngas

1. PENDAHULUAN

Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar padat menjadi gas yang mampu bakar (CO , CH_4 , dan H_2) yang melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20%-40%) udara stoikiometri. (Suliono, 2017). Gasifikasi merupakan metode konversi secara termokimia bahan bakar padat menjadi syngas dengan suplai uap panas, udaram dan faktor lainnya (Suhendi, 2017). Gasifikasi biomassa adalah serangkaian reaksi kimia dari komponen-komponen biomassa pada suhu tinggi dengan udara terbatas untuk memproduksi gas yang umumnya mengandung CO , H_2 dan CH_4 (Mufid & Anis, 2019). Gasifikasi adalah suatu proses termokimia yang mengubah bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (bahan bakar gas) didalam suatu reaktor yang disebut gasifier (Vidian, 2015). Selama proses gasifikasi, akan terjadi area yang menjadi tempat proses yang dapat diurutkan berdasarkan suhu dalam reaktor gasifikasi. Daerah tersebut dikenal juga sebagai tahapan-tahapan dalam proses gasifikasi (Styana et al., 2019)

Ada 4 tahapan dalam proses gasifikasi yaitu:

- Proses Pengeringan Bahan Bakar (Drying of fuel process)

Terjadi akibat pengaruh energi panas, lalu biomassa akan mengalami pengeringan pada temperatur sekitar 100°C . (Riyadi, 2015)

- Proses Pirolisis (Pyrolysis Process)

Pirolisis atau devolatilisasi disebut juga sebagai gasifikasi parsial adalah suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis yang dimulai secara lambat pada $T < 350^\circ\text{C}$ dan terjadi secara cepat pada $T > 700^\circ\text{C}$ (Sarah, 2012)

- Proses Pembakaran (Combustion Process) atau Oksidasi

Dibentuk pada tingkat dimana oksigen (udara) dimasukkan. Reaksi dengan oksigen sangat eksotermik dan mengakibatkan kenaikan tajam suhu sampai 1200°C . sebagaimana yang dibutuhkan di atas, fungsi penting zona oksidasi (Hariyanto, 2006)

- Proses Reduksi (Reduction Process).

Tahap reduksi merupakan proses utama pembentukan gas-gas mempan bakar (combustible gasses). Pada tempertur di atas 600°C , arang bereaksi dengan uap air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2) untuk menghasilkan hidrogen (H_2) dan karbon monoksida (CO), serta senyawa lain. Pada tahap reduksi berlangsung reaksi-reaksi kesetimbangan yang secara keseluruhan endoterm (Susanto, 2018)

Alat untuk melakukan proses gasifikasi adalah mesin gasifier. Mesin gasifier mempunyai beberapa tipe, diantaranya:

- *Downdraft gasifier*

Pada *downdraft gasifier*, udara di masukan pada aliran bahan bakar yang ada di atas zona oksidasi. Aliran udara searah dengan aliran bahan bakar yang masuk ke dalam tungku gasifier. Lalu bahan bakar akan dimasukan pada bagian atas gasifier dan akan mengalami proses pengeringan dan pirolisis akibat panas yang dihasilkan pada reaksi oksidasi. (Prameswari, 2014)

- *Updraft gasifier*

Gasifikasi updraft merupakan reaktor gasifikasi yang umum digunakan secara luas. Ciri khas dari reaktor gasifikasi ini adalah aliran udara dari blower masuk melalui bagian bawah reaktor melalui grate sedangkan aliram bahan bakar masuk dari bagian atas reaktor sehingga arah aliran udara dan bahan bakar memiliki prinsip yang berlawanan (counter current). (Najib, 2012)

Biomassa secara umum merupakan bahan yang dapat diperoleh dari baik tanaman secara langsung maupun tidak langsung. Biomassa disebut juga “fitomassa” dan seringkali disebut juga sebagai bioresource atau sumber daya hayati. (Herlambang, 2017)

Pada penelitian ini, penulis menggunakan bahan bakar biomassa yaitu serbuk kayu dan sekam padi



Gambar 1. Sekam padi yang digunakan



Gambar 2. Serbuk kayu yang digunakan

Karakteristik suatu biomasa biasanya dilihat dari hasil uji *proximate* dan *ultimate*. Uji *ultimate* dan *proximate* serbuk kayu dan sekam padi dapat dilihat hasilnya pada tabel berikut. (Ferdinandisyah, 2022)

Tabel 1. Nilai Proximate dan Ultimate sekam padi

Kandungan Syngas	Unit	Nilai
Moisture Content	% wt	9,2
Ash Content	% wt	17,5
Volatile Content	% wt	65,3
Fixed Content	% wt	17,4
Density	kg/m ³	188
LHV	mJ/kg	14,1
Carbon	% wt	37,6
Hydrogen	% wt	5,0
Nitrogen	% wt	0,3
Oxygen	% wt	36,6

Tabel 2. Nilai proximate dan Ultimate Serbuk kayu

<i>Proximate (%)</i>	Nilai
Fixed Carbon	9.34
Volaite Matter	55.03
Ash	0.69
Moisture	34.93
<i>Ultimate (%)</i>	Nilai
Carbon	32.06
Hydrogen	3.86
Oxygen	28.17
Nitrogen	0.26
Sulfur	0.01
Ash	0.69

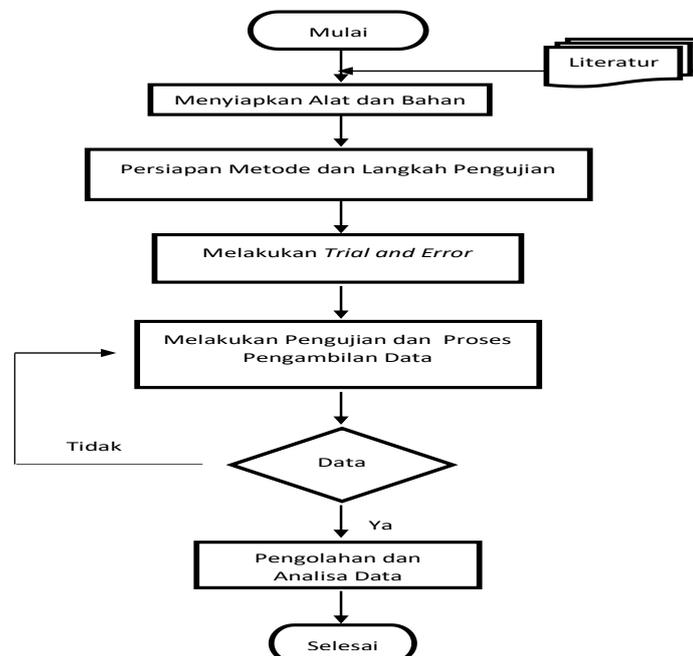
(Nurhilal & Suryaningsih, 2017)

Tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah:

1. Melakukan pengujian untuk mencari konsumsi laju aliran syngas serbuk kayu terhadap unjuk kerja mesin diesel dual fuel hybrid system
2. Menentukan unjuk kerja mesin diesel dual fuel hybrid system dengan variasi pembebanan 1kW, 2kW, 3kW, 3.1kW, 3.2kW dengan waktu masing-masing tiap pembebanan adalah 180 detik.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat dari flow chart berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Pengujian

Adapun untuk langkah-langkah pengujian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Pra Proses Gasifikasi

- Menyiapkan alat yang dibutuhkan untuk memulai pengujian
- Menyiapkan bahan bakar serbuk kayu dan sekam padi yang sudah dijemur terlebih dahulu
- Mengisi penuh air pada drum-drum untuk sirkulasi pendingin

- Memasang blower hisap, pompa dan selang yang terhubung ke balon penyimpanan gas

Proses Gasifikasi

- Menyalakan pompa dan memastikan sirkulasi air pendingin stabil
- Menuang bahan bakar serbuk kayu dan sekam padi ke dalam tungku dan mulai proses pembakaran
- Menyaring hasil keluaran dari serbuk kayu dan sekam padi yang mengalir ke drum pendingin
- Memonitor hasil gas buang pada drum diafragma
- Jika gas yang dihasilkan bagus, buka katup selang yang terhubung dengan balon penyimpanan gas
- Ulangi proses diatas hingga balon penyimpanan gas terisi penuh

Pra Pengujian Gas Hasil Gasifikasi

- Menyiapkan alat yang akan digunakan
- Menghubungkan selang dari balon ke mesin diesel
- Menghidupkan mesin diesel
- Mengatur load yang akan digunakan dengan gas hasil gasifikasi

Pengujian Gas Hasil Gasifikasi

- Membuka katup mesin diesel yang terhubung dengan balon gas
- Mencatat waktu konsumsi bahan bakar dexlite 100mL dengan ada dan tanpa gas hasil buang
- Mencatat laju aliran gas yang keluar dari balon penyimpanan
- Mencatat ampere yang dihasilkan selama proses terjadi
- Mencatat RPM yang dihasilkan

(Naufal, 2022)

Pada penelitian ini, mesin gasifikasi yang digunakan adalah mesin Gasifier TG 30-1.



Gambar 4. Mesin Gasifier TG 30-1 yang digunakan

Trilion gasifier TG 30-1 adalah suatu mesin gasifier biomassa yang diproduksi oleh Trilion Internasional Pte.Ltd. Berikut adalah data kapasitas mesin gasifier TG 30-1

Tabel 3. Data Kapasitas Mesin Gasifier

Kapasitas Pompa Air	60 liter/m
---------------------	------------

Kapasitas Pendingin	14m ³
Kadar Air Biomassa	< 20%
Ukuran Biomassa Ideal	< (15mm x 15mm x 15mm)
Direct Injection Engine System	30 HP pada 15000 rpm
Engine Capacity	> 1000°C, < 2500°C

Pada penelitian ini, mesin diesel yang digunakan adalah mesin diesel *dual fuel solar syngas system*



Gambar 5 Mesin Diesel yang digunakan

Berikut adalah data spesifikasi mesin diesel yang digunakan dalam penelitian ini

Tabel 4. Spesifikasi Mesin Diesel

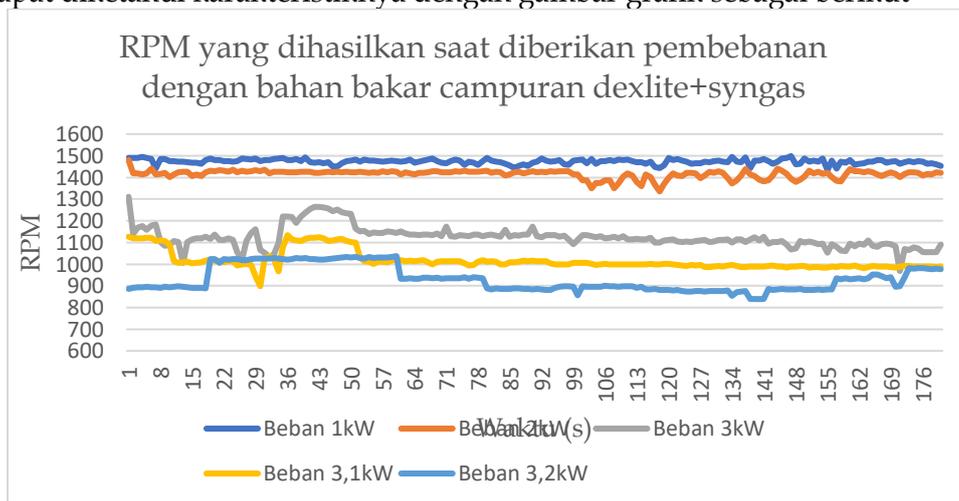
Berat	77 kg
Dimensi	38 × 57 × 55 cm
Merek	Jiang Fa
Tipe Mesin	Horizontal, 4 Langkah, Pendinginan Air
Sistem Pembakaran	Injeksi Langsung
Jumlah Silinder	1 Silinder
Diameter x Langkah	75 x 80 mm
Isi Silinder	353 cc
Daya Maksimum	7.0 Hp / 2600 rpm
Daya Rata-rata	6.5 Hp / 2600 rpm

Kapasitas Tangki Bahan Bakar	4,75 liter
Kapasitas Tangki Oli Bahan Bakar	2 liter
Pelumas	Solar SAE 40 CC/CD
Sistem Pelumasan	Tekanan / Percikan
Sistem Pendingin	Hopper
Sistem Penyalaan	Engkol / Manual

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menggunakan lampu halogen yang berjumlah 5200 Watt. Tetapi untuk daya yang di pakai dalam penelitian ini hanya sampai <3200 Watt. Beban yang dipakai dalam pengujian karakteristik genset ini ialah 1kW, 2kW, 3kW, 3.1kW dan 3.2kW

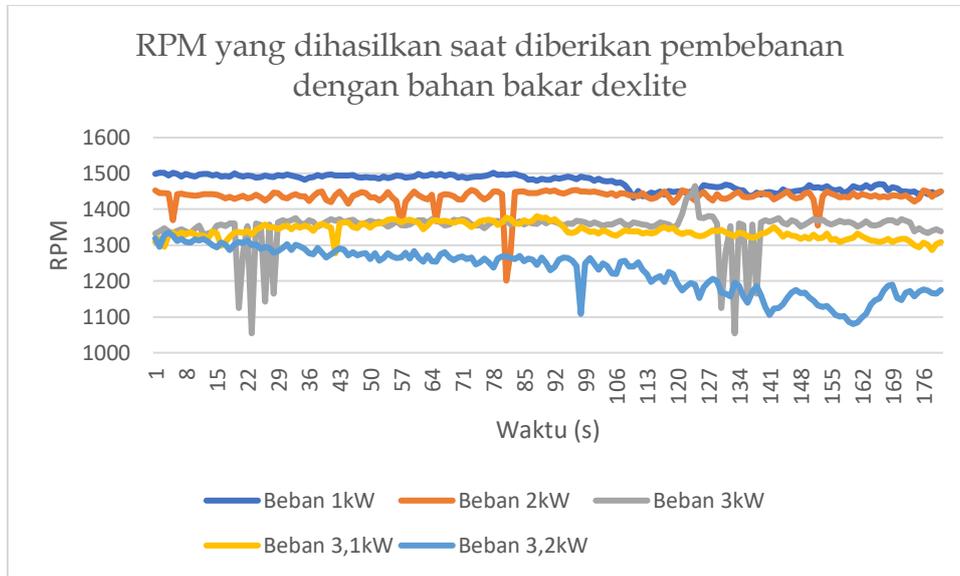
- **RPM yang dihasilkan oleh mesin diesel saat diberi pembebanan**
Masing-masing nilai yang dihasilkan oleh genset saat diberi pembebanan tanpa syngas dapat diketahui karakteristiknya dengan gambar grafik sebagai berikut



Gambar 6 Grafik RPM yang dihasilkan mesin genset *dual fuel hybrid system* saat diberikan pembebanan dengan bahan bakar campuran dexlite+syngas

Pada grafik dapat dilihat data RPM dengan pembebanan masing-masing mulai dari 1kW sampai 3,2kW. Pada beban 1kW RPM yang dihasilkan cenderung memiliki putaran yang cukup stabil walaupun ada beberapa titik fluktuatif tetapi tidak terlalu signifikan. Mencatatkan rata-rata 1471,3. Pada pembebanan 2kW, RPM mengalami fluktuasi dari dari detik ke 110 sampai detik 170. Mencatatkan nilai rpm rata-rata sebesar 1415,5. Lalu pada pembebanan 3kW mesin rpm mengalami fluktuasi yang cukup signifikan di detik awal dari nilai 1310,8 menyentuh angka 1138 dan naik lagi sampai detik 60 di angka 1260 hingga detik 180 namun di detik 170 mengalami penurunan selama 5 detik dan naik lagi menyentuh angka

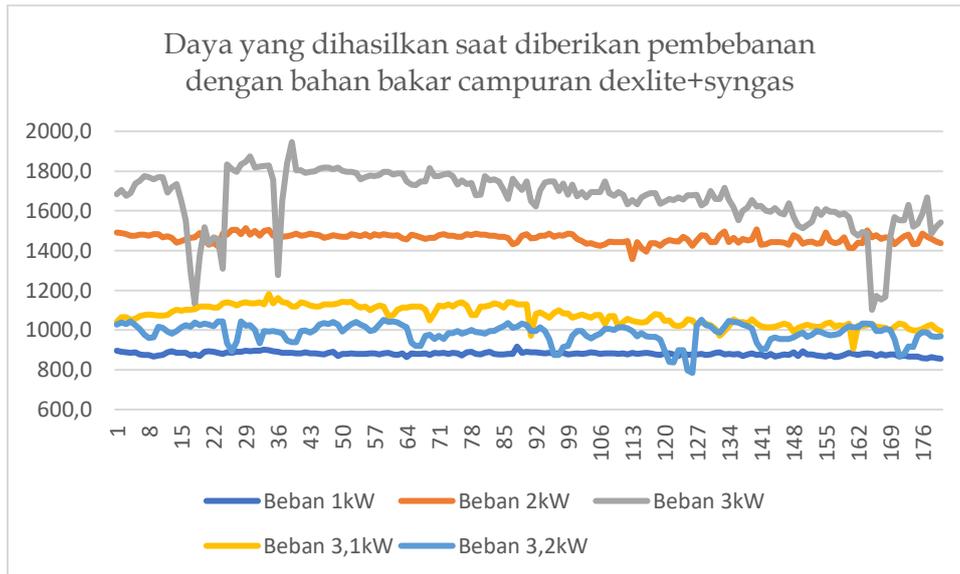
1280. Mencatatkan nilai rpm rata-rata sebesar 1124 Pada pembebanan 3,1kW RPM mengalami fluktuasi yang cukup signifikan yaitu turun sekitar 200 pada detik awal dari yang 1124 menyentuh 920 tetapi pada detik 55 rpm kembali stabil lagi hingga detik 180. Mencatatkan nilai rpm rata-rata sebesar 1016,4. Pada pembebanan 3,2kW rpm mengalami kenaikan di detik 20 dan turun lagi di detik 60 sempat menyentuh 1020 tetapi mengalami fluktuasi yang cukup signifikan hingga detik ke 180 yaitu di detik 140,160 dan detik 170. Mencatatkan nilai rpm rata-rata sebesar 931,2



Gambar 7 RPM Grafik yang dihasilkan mesin genset *dual fuel hybrid system* saat diberikan pembebanan dengan bahan bakar dexlite

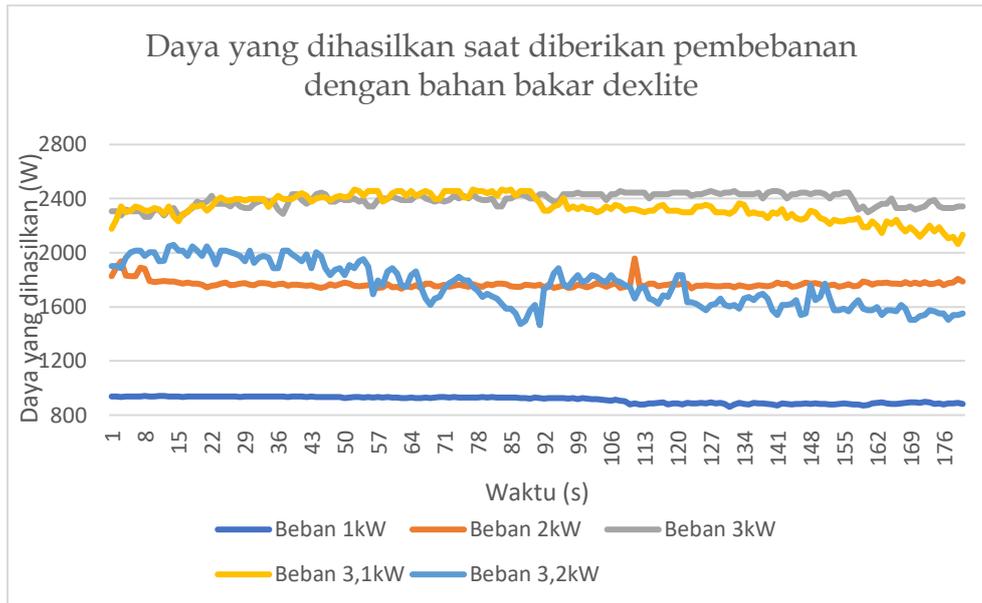
Grafik diatas merupakan grafik data rpm dari mesin genset yang diberikan pembebanan dari 1kW, 2kW, 3kW, 3.1kW, 3.2kW secara bertahap selama masing-masing 180sekon. Ketika diberikan pembebanan pada 1kW mencatatkan rata-rata rpm 1475.9. Pada awalnya mesin mampu bekerja optimal selama kira-kira 110 sekon namun setelah itu putaran mesin mulai menurun dikarenakan genset diesel yang digunakan mengalami respon yang kurang cepat. Lalu mengalami kenaikan lagi pada detik 130 dan setelah itu mengalami fluktuatif hingga detik 180. Ketika diberikan pembebanan 2kW rpm yang dihasilkan rata-ratanya adalah 1435.3. Pada saat dilakukan pada detik 10 rpm sempat turun hingga 1360 lalu selang 5 detik rpm kembali menyentuh angka 1440. Rpm kembali mengalami fluktuasi pada detik 60 dan 70 hingga menyentuh angka 1370 namun kembali normal setelah itu hingga detik 150. Ketika diberikan pembebanan 3kW rpm rata-rata mencatatkan 1349,7. Namun putaran mesin sempat mengalami fluktuasi selama 10 detik pada detik 20 hingga mencapai angka 1050. Pada detik 30 rpm kembali stabil sampai pada detik 120. Di detik 120 rpm kembali mengalami fluktuasi selama 20 detik sampai angka 1050 juga. Ketika diberikan pembebanan 3.1kW mesin genset mencatatkan rpm yang cukup stabil dengan rata-rata 1339.7 Ketika diberikan pembebanan 3.2kW mesin genset mencatatkan rpm rata-rata 1230.3. Rpm mesin mengalami penurunan yang stabil dari awal hingga detik 180.

- Daya yang dihasilkan mesin diesel saat diberikan pembebanan



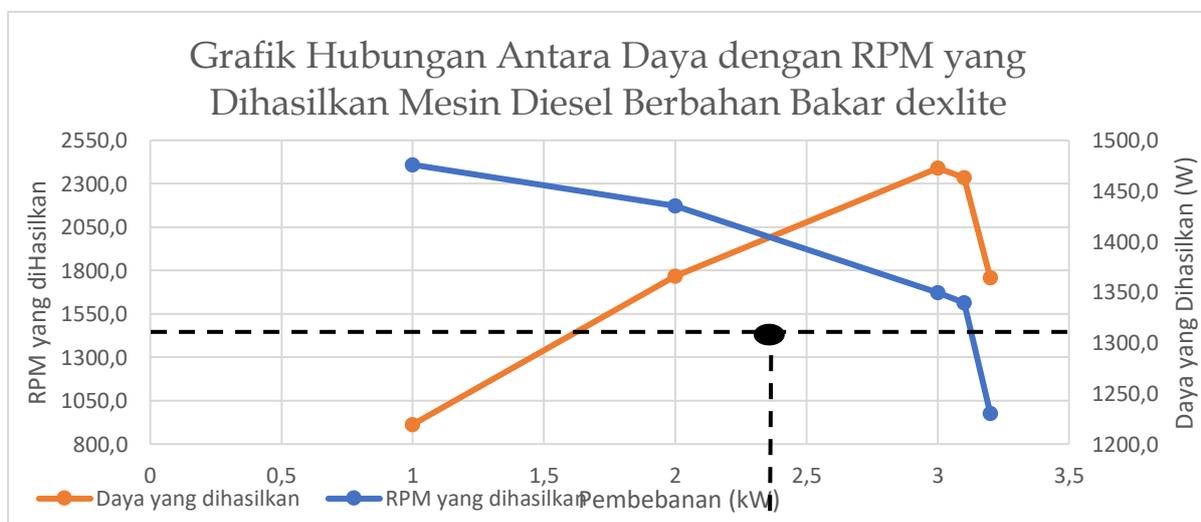
Gambar 8 Grafik Daya yang dihasilkan mesin genset *dual fuel hybrid system* saat diberikan pembebanan dengan bahan bakar campuran dexlite+syngas

Pada grafik dapat dilihat data daya yang dihasilkan dengan pembebanan masing-masing mulai dari 1kW sampai 3,2kW. Pada pembebanan 1kW terlihat daya yang dihasilkan cenderung stabil di angka 880 dan tidak mengalami fluktuasi yang signifikan. Mencatatkan rata-rata 880,5 Watt. Pada pembebanan 2kW daya yang dihasilkan pun juga masih terlihat stabil walau mengalami naik turun di range 100watt selama 180 detik percobaan. Mencatatkan rata-rata 1462,4 Watt. Pada pembebanan 3kW daya yang dihasilkan mengalami fluktuasi yang cukup tinggi dari 1750 watt sampai menyentuh 1090 watt sebanyak 2 kali di detik 20 dan 170 watt dan di detik 30 dan 40 mengalami fluktuasi juga sampai menyentuh 1770 watt selebihnya mengalami fluktuasi yang cukup tinggi sekitar 200 watt. Mencatatkan rata-rata 1465,2 Watt. Pada pembebanan 3,1kW daya yang dihasilkan turun menjadi sekitar 1100 watt namun cukup stabil hanya mengalami fluktuasi sekitar 100 watt selama 180 detik percobaan. Mencatatkan rata-rata 1073,8 Watt. Pada pembebanan 3,2kW daya yang dihasilkan turun menjadi 980 watt dan tidak stabil atau mengalami fluktuasi sepanjang percobaan dikarenakan mesin diesel yang tidak maksimal performanya. Mengalami fluktuasi sekitar 100 watt sepanjang percobaan. Mencatatkan rata-rata 985,5 Watt.



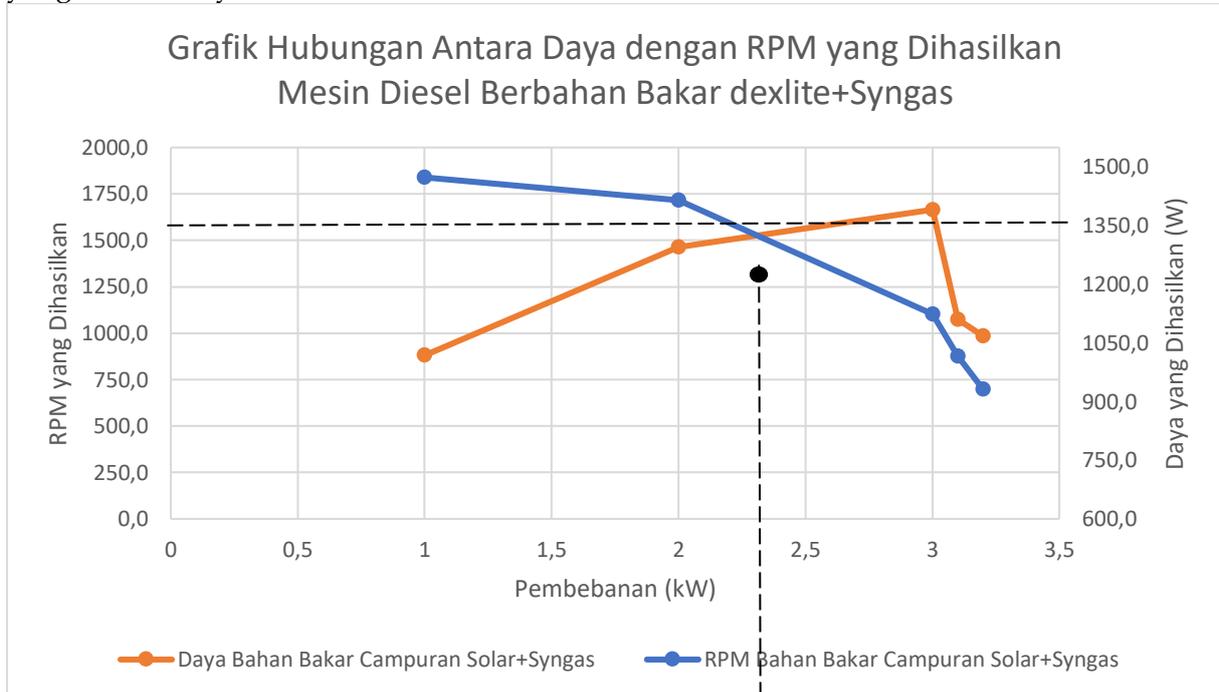
Gambar 9 Grafik Daya yang dihasilkan mesin genset *dual fuel hybrid system* saat diberikan pembebanan dengan bahan bakar dexlite

Pada pembebanan 1kW daya yang dihasilkan oleh mesin genset diesel terlihat cenderung stabil dan tidak memiliki fluktuasi yang signifikan dengan rata daya 913.1W. Ketika diberikan pembebanan 2kW daya yang dihasilkan oleh mesin genset diesel tercatat memiliki rata-rata 1768.4W dan ada fluktuasi pada detik 110 yang mencapai angka 1940W. Setelah itu stabil hingga detik ke 180. Pada pembebanan 3kW daya yang dihasilkan oleh mesin genset diesel memiliki rata-rata sekitar 2501.9W dengan mengalami fluktuasi yang tidak begitu tinggi serta cenderung stabil pada detik antara 100 sampai detik 160. Pada pembebanan 3.1kW daya yang dihasilkan oleh mesin genset diesel memiliki rata-rata 2611.3W dengan mengalami kenaikan yang fluktuatif dari awal hingga detik 80 namun setelah itu mengalami penurunan yang cukup signifikan hingga detik 180. Pada pembebanan yang terakhir yaitu 3.2kW daya yang dihasilkan turun dari sebelumnya yaitu mencatatkan rata-rata 1838.1W dan mengalami fluktuasi yang cukup tajam pada detik 90.



Gambar 10. Grafik hubungan antara daya dengan rpm yang dihasilkan mesin diesel menggunakan bahan bakar dexlite

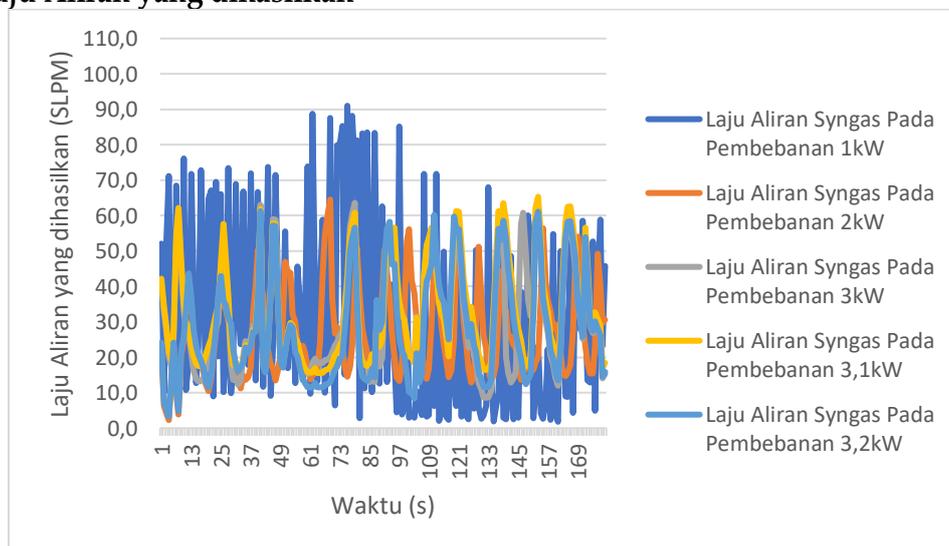
Pada grafik ini, hubungan antara RPM dengan Daya yang dihasilkan oleh mesin genset dengan berbahan bakar dexlite memiliki titik equilibrium pada RPM sebesar 1900 dan daya yang dihasilkan sekitar 1400an Watt. Pada grafik juga terlihat cenderung turun pada RPM secara bertahap, lalu untuk daya kenaikan terjadi hingga 3000Watt lalu setelah itu turun daya yang dihasilkannya



Gambar 11. Grafik hubungan antara daya dengan rpm yang dihasilkan mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran dexlite+syngas

Pada grafik ini dapat dilihat hubungan antara Daya dengan RPM yang dihasilkan mesin diesel berbahan bakar campuran dexlite+syngas. Titik equilibrium berada ketika RPM berada di 1500 dan Daya yang dihasilkan berada di 1300an Watt. RPM relatif turun tiap kenaikan beban yang dilakukan, untuk daya turun saat dilakukan pembebanan 3000Watt

• **Laju Aliran yang dihasilkan**



Gambar 12. Grafik konsumsi laju aliran syngas yang dihasilkan

Pada pembebanan 1 kW Laju Aliran yang dihasilkan bisa dilihat dari grafik di atas. Di grafik nilai yang dihasilkan mengalami fluktuasi yang sangat tinggi. Faktor yang memungkinkan terjadi menurut penulis adalah ketika tegangan 1kW yang tidak memerlukan tenaga yang besar sehingga gas yang dibutuhkan oleh mesin jumlahnya tidaklah besar. Jadi mengalami fluktuasi yang sangat besar karena perbedaan kebutuhan tegangan tadi. Di 2kW, fluktuasi yang terjadi berkisar juga cukup tinggi yaitu dari yang paling rendah sekitar 2 L/m hingga 60an L/m. Fluktuasi terjadi selama percobaan Untuk 3kW, 3,1kW dan 3,2kW pun juga terjadi fluktuasi yang cukup tinggi dan hampir sama dengan yang terjadi di 2kW. Tapi hasilnya bisa dilihat dari grafik yaitu terlihat mirip yang artinya ketika dilakukan pengujian di 3kW,3,1kW dan 3,2kW tidak terlalu ada perbedaan yang cukup signifikan dari laju aliran yang dihasilkan.



Gambar 13. Grafik rata-rata konsumsi laju aliran syngas yang dihasilkan

Grafik diatas adalah rata-rata konsumsi laju aliran syngas yang dihasilkan ketika dilakukan pengujian dengan variasi pembebanan. Saat diberikan pembebanan 1kW rata-rata konsumsi laju aliran syngas yang dihasilkan adalah 31,67 L/menit. Lalu saat pembebanan 2kW rata-rata konsumsi laju aliran syngas yang dihasilkan adalah 26,66 L/menit. Ketika diberikan pembebanan di 3kW rata-rata konsumsi laju aliran syngas yang dihasilkan adalah 31,73 L/m. Lalu ketika pembebanan di 3,1kW laju aliran singas yang dihasilkan adalah 32,66 L/m. Dan ketika pembebanan 3,2kW laju aliran syngas yang dihasilkan adalah 29,82 L/menit.

5. KESIMPULAN

Pengaruh dari laju aliran syngas dari kombinasi serbuk kayu dan sekam padi terhadap unjuk kerja mesin diesel dual fuel hybrid system yang dilakukan variasi bahan bakar menggunakan dexlite dan campuran syngas+dexlite. Pembebanan yang digunakan yaitu 1kW, 2kW, 3kW, 3.1kW, 3.2kW. Untuk variasi bahan bakar menggunakan dexlite, pembebanan 1kW menghasilkan daya 913,3 Watt, pada pembebanan 2kW menghasilkan 1769,4 Watt, pada pembebanan 3kW menghasilkan 2501,9 Watt, pada pembebanan 3,1kW menghasilkan 2611,3 Watt, pada pembebanan 3,2kW menghasilkan 1838,1 Watt. Untuk variasi bahan bakar menggunakan campuran syngas+dexlite, pembebanan 1kW menghasilkan daya 880,5 Watt, pada pembebanan 2kW menghasilkan 1462,4 Watt, pada pembebanan 3kW menghasilkan 1665,2 Watt, pada pembebanan 3,1kW menghasilkan 1073,8 Watt, pada pembebanan 3,2kW menghasilkan 985,5 Watt.

SARAN

Saran yang dapat penulis sampaikan kepada mahasiswa yang akan melanjutkan dan mengembangkan penelitian yang telah penulis lakukan adalah yang pasti jangan mudah patah semangat, lalu tetaplah berdoa dan meminta restu dari kedua orangtua. Untuk penelitian selanjutnya masih bisa di kembangkan lagi untuk menyempurnakan kualitas syngas, performa mesin diesel dual fuel hybrid system, dan metode pencampuran antara dexlite dan syngas yang lebih optimal.

DAFTAR RUJUKAN

- Ferdinandisyah, R., & Erwin, E. (2022). *Karakterisasi Performa Genset Diesel 5 kW menggunakan Syngas Sekam Padi dengan Variasi Pembebanan Performance Characterization of 5 kW Diesel Generator Using Rice Husk Syngas with Variation of Loading*. 4, 1-9.
- Hariyanto, R. (2006). *Pengaruh Variasi Flowrate Udara Bakar Terhadap Temperatur Gasifikasi Biomassa Dan Kestabilan Gas Produk*. 163-172. www.tarweb.net].
- Herlambang, S. dkk. (2017). *Biomassa sebagai Sumber Energi Masa Depan*. *Buku Ajar*, 1-51.
- I, S. (2012). *Gasifikasi dan Pirolisis*. 4-16.
- Mufid, F., & Anis, S. (2019). *Pengaruh Jenis dan Ukuran Biomassa terhadap Proses Gasifikasi Menggunakan Downdraft Gasifier*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 10(3), 217-226. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2019.010.03.2>
- Najib. (2012). *Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu. Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa*, 1(1), 12-15. digilib.its.ac.id
- Naufal, M. F. (2022). *PADUAN SEKAM PADI DAN SERBUK KAYU PADA MESIN DIESEL DUAL FUEL HYBRID SYSTEM MAKSIMUM 5KW*.
- Nurhilal, O., & Suryaningsih, S. (2017). *Karakterisasi Biobriket Campuran Serbuk Kayu dan Tempurung Kelapa*. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 07(02), 13-16.
- Prameswari, D. (2014). *Pengaruh perlakuan panas dan penuaan. Pengaruh Perlakuan Panas Dan Penuaan*, 5-18.
- Riyadi, M. A. (2015). *Studi Eksperimen Gasifikasi Menggunakan Fluidized Bed Gasifier Berbahan Sekam Padi, Serbuk Gergaji Kayu Jati dan Serbuk Gergaji Kayu Sengon Penghasil Syngas*. 16.
- Styana, U. I. F., Indrawati, R., & Cahyono, M. S. (2019). *Karakterisasi Proses Gasifikasi Sampah Organik dengan Variasi Jenis Bahan*. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 3(1), 29. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v3i1.495>
- Suhendi, E., Paradise, G. U., & Priandana, I. (2017). *Pengaruh Laju Alir Udara Dan Waktu Proses Gasifikasi Terhadap Gas Producer Limbah Tangkai Daun Tembakau Menggunakan Gasifier Tipe Downdraft*. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5(2), 45-53.

<https://doi.org/10.15294/jbat.v5i2.6054>

Suliono, S., Sudarmanta, B., Dionisius, F., & Maolana, I. (2017). Studi Karakteristik Reaktor Gasifikasi Type Downdraft Serbuk Kayu Dengan Variasi Equivalensi Ratio. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 3(2), 37–43. <https://doi.org/10.31884/jtt.v3i2.60>

Susanto, H. (2018). Pengembangan Teknologi Gasifikasi untuk Mendukung Kemandirian Energi dan Industri Kimia. In *Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung* (Nomor November).

Vidian, F., Basri, H., & Safutra, A. L. (2015). Studi Awal Gasifikasi Serbuk Kayu Pada Open Top. *Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Snttm Xiv*, 7–8.