

PERFORMANCE ANALYSIS OF DUAL FUEL DIESEL GENERATOR WITH VARIATIONS IN LPG FLOW RATE AND AIR HOLE DIAMETER

Y. Witanto^{1,*}, I. Amsah¹, D. Zukri¹, A. Nuramal¹, M.K.A. Rosa²

¹Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Jl. WR Supratman, Bengkulu, 38371, Indonesia

²Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Jl. WR Supratman, Bengkulu, 38371, Indonesia

*E-mail: yovanmail@gmail.com

Diterima: 15-03-2023

Direvisi: 23-10-2023

Disetujui: 01-12-2023

ABSTRAK

Penelitian mengenai mesin diesel *dual fuel* telah menjadi fokus utama, tetapi penelitian terhadap komposisi gas LPG dan udara pada *intake manifold* masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja genset diesel *dual fuel* dengan memvariasikan laju aliran LPG dan diameter lubang udara pada *intake manifold*. Metode penelitian yang diterapkan adalah eksperimen dengan variabel uji berupa laju aliran gas (1 LPM, 2 LPM, dan 3 LPM) dan diameter lubang udara (19 mm, 21 mm, 23 mm, 25 mm, dan 27 mm). Variabel uji ini secara signifikan mempengaruhi daya listrik dan SFC (*Specific Fuel Consumption*). Analisis dilakukan dengan menggunakan Anova *single factor*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan gas LPG dengan variasi laju aliran menghasilkan peningkatan daya dibandingkan dengan penggunaan solar murni, terutama pada beban tinggi. Peningkatan daya yang signifikan terjadi pada diameter lubang 27 mm pada laju aliran LPG 3 LPM, mencapai 1548 Watt. SFC menunjukkan bahwa penambahan LPG yang tersubstitusi dengan solar lebih hemat dan efektif dibandingkan hanya menggunakan solar. SFC terendah terjadi pada variasi dengan laju aliran gas LPG 1 LPM, pada diameter lubang udara 25 mm, yaitu sebesar 0,002721 kg/kWh. Kesimpulannya, penelitian ini menggambarkan dampak variasi laju aliran LPG dan diameter lubang udara pada kinerja genset diesel *dual fuel*. Implikasi dari temuan ini dapat mendukung pengembangan teknologi mesin yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Kata kunci: mesin diesel *dual fuel*; laju aliran LPG; diameter lubang udara; analisis daya listrik; SFC.

ABSTRACT

Research on dual fuel diesel engines has been the main focus, but research on the composition of LPG and air in the intake manifold is still limited. This study aims to analyze the performance of a dual fuel diesel generator set by varying the LPG flow rate and air hole diameter in the intake manifold. The research method applied is experimental with test variables in the form of gas flow rate (1 LPM, 2 LPM, and 3 LPM) and air hole diameter (19 mm, 21 mm, 23 mm, 25 mm, and 27 mm). These test variables significantly affect electrical power and SFC (*Specific Fuel Consumption*). Analysis was conducted using single factor Anova. The results showed that the addition of LPG gas with variations in flow rate resulted in an increase in power compared to the use of pure diesel, especially at high loads. A significant increase in power occurred at an orifice diameter of 27 mm at an LPG flow rate of 3 LPM, reaching 1548 Watts. The SFC shows that the addition of LPG substituted with diesel is more efficient and effective than using only diesel. The lowest SFC occurred in the variation with an LPG gas flow rate of 1 LPM, at an air hole diameter of 25 mm, which amounted to 0.002721 kg/kWh. In conclusion, this study illustrates the impact of variations in LPG flow rate and air outlet diameter on the performance of dual fuel diesel gensets. The implications of these findings can support the development of more efficient and environmentally friendly engine technology.

Keywords: dual fuel diesel engines; LPG flow rate; air hole diameter; electrical power analysis; SFC.

1. PENDAHULUAN

Penelitian mesin diesel *dual fuel* telah banyak dilakukan, namun komposisi gas LPG dan udara pada *intake manifold* belum banyak diteliti. Mesin diesel *dual fuel* adalah mesin diesel yang ditambahkan bahan bakar lain jenis gas, misalnya Syngas pada *intake manifold* dan penyalaan bahan bakar dilakukan oleh semprotan solar yang disebut Pilot Fuel. Permasalahan sistem *dual fuel* yakni berkurangnya rasio udara dan bahan bakar. Adanya pemasukan Syngas mengakibatkan jumlah udara pembakaran berkurang. Hal ini menyebabkan nilai AFR menjadi rendah. Untuk mengetahui permasalahan pada karakteristik unjuk kerja mesin diesel *dual fuel* dibutuhkan sebuah analisa. [1]. Mesin Diesel berbahan bakar *dual fuel* perlu dipersiapkan guna mendukung program pemerintah mengatasi kelangkaan solar. Subsidi solar di tahun 2022 kuotanya dipangkas dibandingkan tahun lalu [2]. Kelangkaan solar bersubsidi di sejumlah wilayah Indonesia dalam beberapa waktu terakhir berpotensi menghambat distribusi barang maupun sembako. Sehingga, akan menyulut kenaikan harga bahan pangan yang saat ini sudah mahal [3]. Pemerintah tidak akan impor Bahan Bakar Minyak (BBM) lagi pada 2030. Berdasarkan Grand Strategi Energi RI, pada 2030 ditargetkan sebanyak 440 ribu kendaraan dan 257 unit kapal akan menggunakan BBG. Penggunaan BBG ditargetkan akan meningkat setiap tahunnya. Konversi ke BBG ini memang patut didukung, terutama ketika pasokan gas di dalam negeri melimpah. [4]. Potensi dari penggunaan gas sebagai bahan bakar generator set telah banyak dikaji. Pengujian dengan membandingkan LPG dengan biogas berdasarkan konsumsi bahan bakar dengan durasi yang sama didapatkan bahwa LPG lebih tahan lama [5].

Penggunaan bahan bakar LPG pada mesin diesel merupakan salah satu hal yang penting. Efek LPG yang langsung injeksi menjelang akhir periode saluran masuk udara pada emisi mesin dan karakteristik kinerja telah dikaji. Mesin diesel satu silinder empat langkah, berpendingin udara, dimodifikasi untuk injeksi langsung LPG untuk pengoperasian bahan bakar ganda diesel/LPG. Tingkat injeksi LPG dipilih sebagai 30%, 50% dan 70% berbasis massa. Mesin uji dioperasikan pada putaran

mesin konstan 3000 rpm dengan variasi kondisi beban. Sepanjang percobaan, diamati bahwa kepadatan asap secara signifikan berkurang pada operasi bahan bakar ganda, dibandingkan dengan operasi diesel murni. Karbon Monoksida (CO) dan emisi Hidrokarbon (HC) menurun masing-masing sebesar 30% dan 20%. Bahan Bakar Khusus Rem Konsumsi (BSFC) menurun sebesar 8%. Emisi Nitrogen Oksida (NOx) meningkat 6% sementara efisiensi efektif meningkat hingga 1,25% [6].

Mesin diesel yang terdapat pada genset tidak dapat menyala dengan menggunakan bahan bakar 100% biogas atau LPG saja. Modifikasi yang bisa dilakukan salah satunya merubah dan penambahan system pengapian busi dan disain mixer fuel pada intake manifold mesin genset diesel [7]. Modifikasi lain pada Mesin diesel yakni diubah untuk berjalan pada sistem bahan bakar ganda, menggunakan solar sebagai sumber pengapian dan bahan bakar gas cair (LPG) dengan laju aliran yang bervariasi tergantung pada beban. Mesin dimodifikasi sehingga LPG dapat digunakan sebagai bahan bakar dan solar dapat digunakan sebagai sumber pengapian. Parameter mesin dioptimalkan dengan bantuan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems* (ANFIS). Performa mesin diesel dan karakteristik emisi saat menggunakan LPG sebagai bahan bakar sekunder telah dimodelkan menggunakan ANFIS. Berdasarkan hasil evaluasi kinerja, data proyeksi ANFIS konsisten dengan data eksperimen, dengan koefisien korelasi keseluruhan sebesar 0,99415. Kondisi operasi optimum ditemukan tekanan injeksi 194,32 bar, debit LPG 1 LPM dan 1,13 BP dengan 0,835084 GRG Optimum [8].

Modifikasi lain yakni gas LPG diinjeksikan melalui *intake manifold* menggunakan konverter kit. Modifikasi ini biasa disebut Mesin *dual fuel*. Sistem *dual fuel* merupakan suatu sistem dengan menggunakan dua jenis bahan bakar yang memiliki karakteristik yang berbeda yaitu bahan bakar gas dan cair. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan sistem *dual fuel* Dexlite-LPG dapat meningkatkan torsi dan daya dibanding sistem *single fuel*. Daya meningkat 28% terjadi saat *dual fuel* G70 torsi meningkat 24% saat G30 [9].

Pengujian menggunakan mesin berteknologi *dual fuel* menghasilkan performa yang lebih baik daripada mesin diesel biasa. Dari segi efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, perbandingan daya, densitas asap, kandungan karbon monoksida pada asap serta kandungan NO_x pada sistem *dual fuel*, menunjukkan hasil yang lebih baik daripada hanya menggunakan diesel biasa [10]. Penggunaan BBG sebagai pendamping *dual fuel* pada mesin diesel dari segi daya yang dihasilkan pada berbagai beban, daya relatif sama atau tidak kalah dengan daya yang dihasilkan oleh BBM. Emisi NO_x BBG jauh lebih rendah dibandingkan emisi BBM. Dari segi konsumsi bahan bakar jika dihitung secara matematis adalah untuk mesin dengan daya 7,5 kW beroperasi selama 6 jam, butuh 8 L BBM sementara jika pada sistem *dual fuel* membutuhkan BBG 0,9 kg dan 3 L BBM [11].

Penelitian mesin diesel *dual fuel* yang ada selama ini dilakukan dengan memasukkan LPG ke *intake manifold* (saluran masuk udara), kemudian LPG yang sudah bercampur dengan udara di *intake manifold* masuk ke dalam silinder motor penggerak, kemudian dikompresi di ruang bakar motor penggerak untuk selanjutnya terbakar bersama solar untuk menggerakkan torak [12] [13] [14]. Rasio LPG yang sudah bercampur dengan udara di *intake manifold* belum dilakukan pengukuran pada mesin diesel *dual fuel*. Pada penelitian mesin bensin berbahan bakar LPG, udara yang masuk keruang bakar melalui bukaan katup *choke* bersamaan dengan masuknya gas LPG berpengaruh. Campuran yang paling tepat untuk kemudahan penyalaan awal genset yaitu pada variasi dengan laju aliran 3 LPM pada posisi katup ditutup rapat [15]. Pada penelitian ini akan dikaji pengaruh laju aliran LPG dan diameter lubang udara pada mesin diesel *dual fuel*. Dengan demikian dapat diketahui laju aliran LPG dan diameter lubang udara yang tepat untuk kinerja mesin diesel *dual fuel*. Ini merupakan kebaruan pada penelitian mesin diesel *dual fuel* ini. Pengaruh diameter lubang udara pernah dikaji pada mesin genset gasoline berbahan bakar biogas. Penelitian ini dengan membuat suatu konverter sebagai tempat pencampuran antara udara dengan bahan bakar biogas. Diameter saluran udara masuk pada konverter dengan variasi 0,3 cm, 0,4 cm, 0,6 cm, 0,8 cm, 1,0 cm, 1,2 cm dan laju aliran massa

biogas 0,200 kg/jam sampai 1,2 kg/jam menggunakan beban lampu 100 Watt hingga 400 Watt. Dari hasil penelitian mendapatkan model pembuatan konverter dengan variasi laju aliran massa terbaik 0,800 kg/jam dan ukuran 0,3 diameter saluran penampang udara masuk pada konverter hingga dapat menghemat pemakaian bahan bakar biogas mencapai 31% dibandingkan bahan bakar premium [16].

Pengujian dengan analisis prestasi mesin diesel dengan menggunakan bahan bakar gas telah dilakukan. Dari hasil pengamatan dan pengujian serta analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan, hasil identifikasi bisa dipakai sebagai bahan bakar mesin yang berbahan bakar BBG tanpa converter kit. Pemakaian bahan bakar spesifik terjadi maksimum pada solar yaitu 1,81 kg/kWh sedangkan pada BBG 1,13 kg/kWh, Efisiensi maksimum terjadi pada BBG 22,89%, solar 14,31% [17].

Untuk menanggulangi permasalahan turunnya performa mesin disel yang disebabkan karena penambahan bahan bakar LPG sebagai bahan bakar campuran pada mesin diesel maka dilakukan penelitian ini. Penambahan BBG perlu diimbangi dengan suplai udara yang tepat saat masuk keruang bakar. Untuk itu campuran gas LPG dan udara yang tepat perlu dikaji lebih lanjut. Dengan demikian campuran gas LPG dan udara yang tepat ini diharapkan berkontribusi dalam mengurangi penggunaan solar yang semakin meningkat dan langka tanpa menurunkan kinerja mesin genset.

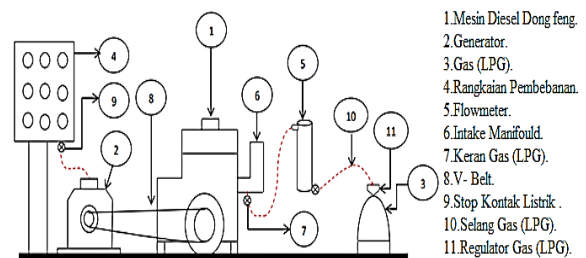
Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kinerja genset diesel *dual fuel* dengan variasi laju aliran LPG dan diameter lubang udara pada *intake manifold*. Pengujian unjuk kerja untuk mendapatkan Daya mesin dan SFC yang optimal. Dalam genset diesel *dual fuel*, bahan bakar solar akan berkurang dengan campuran LPG. Penelitian ini dapat memberikan wawasan baru tentang pengaturan laju aliran LPG dan diameter lubang udara yang dapat mengoptimalkan penggunaan bahan bakar Minyak. Seberapa besar optimalisasi penggunaan bahan bakar yang menjadi target penelitian ini, yakni dapat berkurangnya penggunaan bahan bakar solar dengan menambahkan campuran BBG dan udara yang tepat.

Laju aliran gas dan diameter lubang udara yang tepat untuk kinerja mesin diesel *dual fuel* merupakan keterbaruan dalam penelitian ini. Dari penelitian ini akan dapat ditemukan laju aliran LPG yang paling kecil pada variasi diameter lubang udara yang sesuai. Dengan demikian penggunaan LPG tentu saja bisa di optimalkan. Penggunaan LPG yang lebih hemat inilah yang merupakan *improve* dari penelitian-penelitian sebelumnya.

Keberhasilan penelitian ini akan menjamin *security of supply* energi nasional dan membantu program kemandirian energi di daerah terpencil. Tidak kalah pentingnya, pengembangan ini akan memberikan dampak untuk pengembangan sosial ekonomi masyarakat sekitarnya. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap penghematan bahan bakar jenis solar.



Gambar 1. Aparatus Eksperimen



Gambar 2. Skema Aparatus

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah solar subsidi Pertamina dan gas LPG subsidi 3 kg. Alat penguji pada penelitian ini adalah mesin diesel merek Dongfeng yang telah dimodifikasi. Spesifikasi dan apparatus eksperimen dapat dilihat pada Tabel 1 dan gambar 1. Skema apparatus eksperimen dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel 1. Spesifikasi mesin diesel yang digunakan

Spesifikasi Mesin Diesel Dong Feng R175A	
Dimensi	38 × 57 × 55 cm
Merek	DONGFENG
Model	R 175 A
Tipe Mesin	Horisontal, 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

2.1 Desain Penelitian

Beberapa variabel yang diuji pada penelitian ini antara lain laju aliran gas, diameter lubang saluran udara, tegangan, arus dan daya listrik. Saluran masuk BBG dimodifikasi pada saluran masuk udara mesin diesel bagian *intake manifold* (filter udara). BBG yang digunakan adalah gas LPG. Penghubung bahan bakar LPG ke *intake manifold* yaitu dengan menggunakan regulator tekanan tinggi dan selang yang bertekanan tinggi. Kebutuhan konsumsi solar diukur dengan gelas ukur (buret bahan bakar). Genset dihubungkan dengan mesin diesel dengan perantara *belt*.

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengujian kinerja pada mesin diesel *dual fuel*. Prosedur pengujian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu: 1. Pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar solar murni, 2. pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 1 LPM, 3. Pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 2 LPM, 4. Pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 3 LPM dan 5. Pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 4

LPM. Masing-masing tahapan pengujian tersebut dilakukan dengan memvariasikan lubang *manifold* dengan variasi diameter lubang 19 mm, 21 mm, 23 mm, 25 mm, dan 27 mm seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Diameter lubang udara pada *intake manifold*

Udara yang terhisap masuk kerungan bakar melalui lubang *manifold* yang divariasikan tersebut, sehingga diperoleh laju aliran LPG paling minim untuk penghematan, dengan daya keluaran yang baik.

Genset diberi pembebanan berupa bohlam lampu pijar dengan variasi 300 – 1800 Watt. Variasi pembebanan akan menyebabkan terjadinya perubahan arus dan tegangan yang dikeluarkan oleh genset, selanjutnya akan dianalisis daya dan SFC.

2.2 Pengolahan dan Analisis Data

Variasi pembebanan akan menyebabkan terjadinya perubahan arus dan tegangan. Data arus dan tegangan ini selanjutnya digunakan untuk mendapatkan daya. Besarnya daya tergantung besar tegangan, kuat arus dan $\cos\phi$, untuk menghitung daya dengan menggunakan persamaan [18]

$$P = V \cdot I \cos \phi \text{ (Watt)} \quad (1)$$

Besarnya SFC tergantung besar laju aliran bahan bakar dan daya efektif, untuk menghitung SFC dengan menggunakan persamaan [19]

$$SFC = \frac{3600 \cdot \dot{m}_f}{10^{-3} \cdot P} \text{ (kg/kWh)} \quad (2)$$

Data daya dan SFC tersebut selanjutnya dibuat dalam bentuk grafik hubungan daya-beban dan grafik hubungan SFC-Beban [20]

Selanjutnya akan dianalisis dengan metode *Analisis of Varians (Anova) single factor* dengan menggunakan Ms. Excel [21], sehingga bisa ditemukan kombinasi laju aliran LPG dan diameter lubang udara yang tepat untuk mendapatkan unjuk kerja mesin diesel yang baik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian genset dilakukan dengan dua kondisi yaitu dengan menggunakan solar 100% (SM) seperti terlihat pada Tabel 1 dan dengan sistem *dual fuel* (Solar-LPG) seperti terlihat pada Tabel 2. Selanjutnya masing-masing kondisi dilakukan variasi diameter lubang udara yakni 19 mm, 21 mm, 23 mm, 25 mm dan 27 mm. Selanjutnya akan diukur daya yang dihasilkan dengan pembebanan statis sebesar 300 Watt, 600 Watt, 900 Watt, 1200 Watt, 1500 Watt dan 1800 Watt.

Tabel 1. Data eksperimen perbedaan daya dari genset berbahan bakar solar murni 100% (SM) dengan diameter lubang udara (ϕ) 19 mm, 21 mm, 23 mm, 25 mm dan 27 mm

Beban (Watt)	DAYA (Watt) SM				
	ϕ 19 mm	ϕ 21 mm	ϕ 23 mm	ϕ 25 mm	ϕ 27 mm
300	517.44	508.6	527.61	520.96	520.13
600	1052.5	904.36	938.25	974.86	977.81
900	1239.4	1192.2	1219.2	1251.2	1306.9
1200	1394.1	1363	1399.4	1423.4	1335.4
1500	1034.7	1229.8	1261.7	1251.1	1149.2
1800	Off	1218.5	1263.9	1143.8	956.96

Data pada tabel 1 menunjukkan bahwa genset berbahan bakar solar 100% terjadi *off* pada diameter lubang 19mm saat menerima beban statis 1800 Watt. Hasil pengujian ini selanjutnya akan dibandingkan dengan data pada tabel 2. Data tabel 2 menunjukkan bahwa pada penggunaan bahan bakar *dual fuel* aliran 1 LPM yang diberi beban 1800 Watt, menyebabkan genset terjadi *off* pada diameter lubang udara 19mm, 21mm dan 23 mm. Pada penggunaan bahan bakar *dual fuel* aliran 2 LPM yang diberi beban 1800 Watt, menyebabkan genset terjadi *off* pada diameter lubang udara 19mm. pada penggunaan bahan bakar *dual fuel* aliran 3 LPM yang diberi beban 1500 Watt, menyebabkan genset terjadi *off* pada diameter lubang udara 19 mm dan 23 mm.

Tabel 2. Data eksperimen perbedaan daya dari genset berbahan bakar sistem *dual fuel* dengan laju aliran LPG 1 LPM, 2 LPM, 3 LPM, 4 LPM dengan diameter lubang udara 19 mm, 21 mm, 23 mm, 25 mm dan 27 mm.

Beban (Watt)	DAYA (Watt) 1 LPM				
	ø 19 mm	ø 21 mm	ø 23 mm	ø 25 mm	ø 27 mm
300	525.84	566.75	542.19	532.14	533.45
600	952.56	1018	970.02	981.63	973.21
900	1255.2	1327.1	1279.4	1232.2	1255.2
1200	1416.6	1512.1	1503.8	1419.4	1416.6
1500	1245.1	1554.1	1571.4	1405.5	1404.5
1800	OFF	OFF	OFF	1296.9	1210
Beban (Watt)	DAYA (Watt) 2 LPM				
	ø 19 mm	ø 21 mm	ø 23 mm	ø 25 mm	ø 27 mm
300	550.865	565.78	556.29	549.47	540.742
600	1001.86	1021.11	996.3	1005.92	962708
900	1312.95	1266.47	1303.28	1324.79	1239.703
1200	1452.29	1403.65	1477.86	1484.218	1357.807
1500	1445.22	1443.831	1506.91	1519.65	1388.314
1800	OFF	1055.096	1443.922	1286.87	1332.733
Beban (Watt)	DAYA (Watt) 3 LPM				
	ø 19 mm	ø 21 mm	ø 23 mm	ø 25 mm	ø 27 mm
300	559	534	535	517	544
600	980	985	1004	986	1016
900	1296	1299	1297	1295	1294
1200	1500	1387	1420	1408	1514
1500	OFF	1397	OFF	1393	1628
1800	OFF	OFF	OFF	OFF	1502
Beban (Watt)	DAYA (Watt) 4 LPM				
	ø 19 mm	ø 21 mm	ø 23 mm	ø 25 mm	ø 27 mm
300	554	545	554	556	510
600	954	994	1000	993	926
900	1204	1247	1255	1284	1161
1200	OFF	OFF	OFF	1407	1236
1500	OFF	OFF	OFF	OFF	1163
1800	OFF	OFF	OFF	OFF	1073

Terlihat bahwa pada beban 1800 Watt terjadi *off* pada diameter lubang 19 – 25 mm. pada penggunaan bahan bakar *dual fuel* aliran 4 LPM yang diberi beban 1200 Watt, menyebabkan genset terjadi *off* pada diameter lubang udara 19 – 23 mm. Pada beban 1500 Watt menyebabkan genset terjadi *off* pada diameter lubang udara 19 – 25 mm. Pada beban 1800 Watt menyebabkan genset terjadi *off* pada diameter lubang udara 19 – 25 mm.

Analisis hubungan antara perbedaan daya dari genset berbahan bakar solar murni 100% (SM) pada berbagai variasi diameter lubang udara dan perbedaan daya dari genset *dual fuel* pada berbagai variasi diameter lubang udara, selanjutnya akan dianalisis dengan menggunakan metode statistik Anova *single factor* dengan menggunakan Ms. Excel dengan

nilai Alpha 0,05. Analisis ini dibagi menjadi dua bagian, yakni pada beban 300 – 900 Watt dan pada beban 1200 – 1800 Watt, dengan demikian akan terlihat pada beban berapa analisis ini berpengaruh.

Analisis Anova pertama dilakukan pada beban 300 – 900 Watt. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Data hasil Analisis Anova perbandingan daya yang dihasilkan genset berbahan bakar solar murni dan *dual fuel* pada beban 300 – 900 Watt

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
ø 19 mm (sm)	3	2809.34	936.44667	140407.84		
ø 21 mm (SM)	3	2605.16	868.38667	117797.8		
ø 23 mm (SM)	3	2685.06	895.02	120975.81		
ø 25 mm (SM)	3	2747.02	915.67333	135939.91		
ø 27 mm (SM)	3	2804.84	934.94667	156129.71		
ø 19 mm (1 LPM)	3	2733.6	911.2	134274.49		
ø 21 mm (1 LPM)	3	2911.85	970.61667	146216.92		
ø 23 mm (1 LPM)	3	2791.61	930.53667	137038.85		
ø 25 mm (1 LPM)	3	2745.97	915.32333	125818.43		
ø 27 mm (1 LPM)	3	2761.86	920.62	132305.05		
ø 19 mm (2 LPM)	3	2865.68	955.225	146824.5		
ø 21 mm (2 LPM)	3	2853.36	951.12	126415.57		
ø 23 mm (2 LPM)	3	2855.87	951.95667	140973.26		
ø 25 mm (2 LPM)	3	2880.18	960.06	151857.63		
ø 27 mm (2 LPM)	3	964488	321496.15	3.084E+11		
ø 19 mm (3 LPM)	3	2835	945	136711		
ø 21 mm (3 LPM)	3	2818	939.33333	147870.33		
ø 23 mm (3 LPM)	3	2836	945.33333	147742.33		
ø 25 mm (3 LPM)	3	2798	932.66667	153454.33		
ø 27 mm (3 LPM)	3	2854	951.33333	143761.33		
ø 19 mm (4 LPM)	3	2712	904	107500		
ø 21 mm (4 LPM)	3	2786	928.66667	126402.33		
ø 23 mm (4 LPM)	3	2809	936.33333	125890.33		
ø 25 mm (4 LPM)	3	2833	944.33333	134272.33		
ø 27 mm (4 LPM)	3	2597	865.66667	108680.33		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2.9596E+11	24	1.233E+10	0.9997438	0.48382	1.73708
Within Groups	6.1674E+11	50	1.233E+10			
Total	9.1269E+11	74				

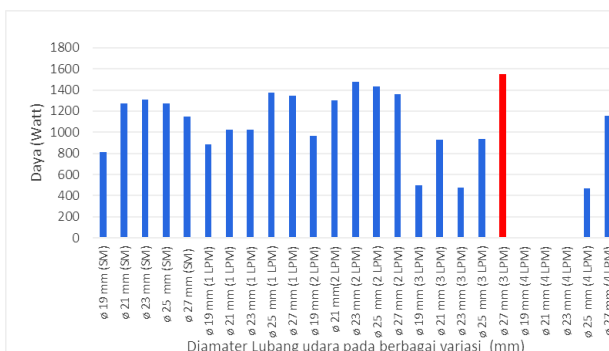
Tabel 3 menunjukkan bahwa $F < F_{crit}$ dan $P\text{-value} > \text{Alpha}$ maka variasi diameter tidak berpengaruh nyata terhadap daya yang dihasilkan genset. Dengan demikian, pada beban Rendah yakni 300 – 900 Watt variasi diameter pada genset dengan solar murni maupun *dual fuel* tidak ada pengaruh perbedaan daya yang dihasilkan pada masing-masing variasi beban.

Selanjutnya analisis Anova kedua dilakukan pada beban 1200 – 1800 Watt. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Data hasil analisis Anova perbandingan daya yang dihasilkan genset berbahan bakar solar murni dan *dual fuel* pada beban 1200 – 1800 Watt

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	15928201	24	663675.036	2.39172496	0.0046736	1.7370796
Within Groups	13874401	50	277488.025			
Total	29802602	74				

Tabel 4 menunjukkan bahwa $F > F_{crit}$ dan $P\text{-value} < \alpha$, maka variasi diameter berpengaruh nyata terhadap daya yang dihasilkan genset. Dengan demikian pada beban tinggi yakni 1200 – 1800 Watt variasi diameter pada genset dengan solar murni maupun *dual fuel* ada pengaruh perbedaan daya yang dihasilkan pada masing-masing variasi beban. Selanjutnya untuk mengetahui daya tertinggi dilakukan uji lanjut dalam diagram batang, seperti terlihat pada grafik gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan daya dengan diameter lubang udara pada berbagai variasi

Penggunaan campuran bahan bakar gas LPG kedalam mesin disel, menyebabkan terjadinya perubahan daya dari mesin diesel. Penambahan gas LPG dengan laju aliran 1 LPM

hingga 4 LPM, menyebabkan terjadinya peningkatan daya dari mesin diesel dibandingkan jika hanya menggunakan solar tanpa campuran gas LPG. Namun pemilihan diameter lubang udara harus tepat. Hasil ini seiring dengan hasil penelitian penggunaan *dual fuel* pada mesin diesel berbahan bakar dexlite-LPG [9].

Variasi diameter lubang udara menyebabkan terjadinya perbedaan daya yang dihasilkan pada masing-masing variasi laju aliran gas LPG maupun pada solar murni. Variasi diameter lubang udara yang menghasilkan daya tertinggi terjadi pada variasi diameter lubang 27 mm pada penambahan laju aliran gas LPG sebesar 3 LPM yakni sebesar 1548 Watt. Hal ini mengindikasikan bahwa diameter lubang udara 27mm ini, yang merupakan diameter lubang udara terbesar dalam penelitian ini (standar bawaan pabrik) tetap memberikan hasil terbaik. Diameter lubang udara 27 mm ini mendukung penambahan laju aliran bahan bakar LPG 3 LPM kedalam mesin diesel. Dengan demikian daya yang dihasilkan adalah yang terbaik.

SFC pengujian genset, juga dilakukan dengan dua kondisi yaitu dengan menggunakan solar 100% (SM) seperti terlihat pada Tabel 5 dan dengan sistem *dual fuel* (Solar-LPG) seperti terlihat pada Tabel 6.

Tabel 5. SFC dari genset berbahan bakar solar murni 100% (SM) dengan diameter lubang udara (ϕ) 19 mm, 21mm, 23mm, 25mm dan 27 mm

Beban (Watt)	SFC (KG/KW.H) SM				
	ϕ 19 mm	ϕ 21 mm	ϕ 23 mm	ϕ 25 mm	ϕ 27 mm
300	0.79	0.82	0.59	0.7	0.9
600	0.5	0.58	0.57	0.54	0.61
900	0.52	0.48	0.54	0.48	0.5
1200	0.57	0.56	0.53	0.51	0.58
1500	1.45	0.85	0.86	0.63	0.91
1800	OFF	1.29	1.07	1.35	1.48

Analisis hubungan antara perbedaan SFC dari genset berbahan bakar solar murni 100% (SM) pada berbagai variasi diameter lubang udara dan perbedaan SFC dari genset *dual fuel* pada berbagai variasi diameter lubang udara, selanjutnya akan dianalisis dengan menggunakan metode statistik Anova *single factor* dengan menggunakan Ms. Excel dengan

nilai Alpha 0,05. Analisis ini dibagi menjadi dua bagian, yakni pada beban 300 – 900 Watt dan pada beban 1200 – 1800 Watt, dengan demikian akan terlihat pada beban berapa analisis ini berpengaruh.

Tabel 6. SFC dari genset *dual fuel* dengan diameter lubang udara (ϕ) 19 mm, 21mm, 23mm, 25mm dan 27 mm

Beban (Watt)	SFC (KG/KW.H) 1 LPM				
	ϕ 19 mm	ϕ 21 mm	ϕ 23 mm	ϕ 25 mm	ϕ 27 mm
300	0.885	0.923	0.836	0.918	0.915
600	0.586	0.554	0.551	0.551	0.603
900	0.477	0.473	0.441	0.49	0.542
1200	0.59	0.473	0.44	0.483	0.521
1500	0.797	0.516	0.466	0.504	0.583
1800	OFF	OFF	OFF	0.582	0.792
Beban (Watt)	SFC (KG/KW.H) 2 LPM				
	ϕ 19 mm	ϕ 21 mm	ϕ 23 mm	ϕ 25 mm	ϕ 27 mm
300	0.46	0.58	0.59	0.5	0.46
600	0.38	0.37	0.38	0.33	0.31
900	0.36	0.3	0.33	0.29	0.31
1200	0.42	0.38	0.36	0.34	0.32
1500	0.53	0.44	0.46	0.39	0.37
1800	OFF	0.81	0.55	0.7	0.49
Beban (Watt)	SFC (KG/KW.H) 3 LPM				
	ϕ 19 mm	ϕ 21 mm	ϕ 23 mm	ϕ 25 mm	ϕ 27 mm
300	1.02	0.87	0.82	0.95	0.95
600	0.64	0.58	0.52	0.55	0.56
900	0.56	0.48	0.44	0.49	0.47
1200	0.56	0.52	0.51	0.53	0.48
1500	OFF	0.63	OFF	0.73	0.46
1800	OFF	OFF	OFF	OFF	0.56
Beban (Watt)	SFC (KG/KW.H) 4 LPM				
	ϕ 19 mm	ϕ 21 mm	ϕ 23 mm	ϕ 25 mm	ϕ 27 mm
300	0.79	0.85	0.82	0.79	0.96
600	0.52	0.52	0.52	0.57	0.56
900	0.49	0.44	0.44	0.48	0.5
1200	OFF	OFF	0.51	0.53	0.5
1500	OFF	OFF	OFF	OFF	0.58
1800	OFF	OFF	OFF	OFF	0.68

Analisis Anova pertama dilakukan pada beban 300 – 900 Watt. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Data hasil analisis Anova perbandingan SFC yang dihasilkan genset berbahan bakar solar murni dan *dual fuel* pada beban 300 – 900 Watt

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
ϕ 19 mm (sm)	3	1.81	0.603333	0.026233		
ϕ 21 mm (SM)	3	1.88	0.626667	0.030533		
ϕ 23 mm (SM)	3	1.7	0.566667	0.000633		
ϕ 25 mm (SM)	3	1.72	0.573333	0.012933		
ϕ 27 mm (SM)	3	2.01	0.67	0.0427		
ϕ 19 mm (1 LPM)	3	1.948	0.649333	0.044624		
ϕ 21 mm (1 LPM)	3	1.95	0.65	0.057537		
ϕ 23 mm (1 LPM)	3	1.828	0.609333	0.041558		
ϕ 25 mm (1 LPM)	3	1.959	0.653	0.053599		
ϕ 27 mm (1 LPM)	3	2.06	0.686667	0.040032		
ϕ 19 mm (2 LPM)	3	1.2	0.4	0.0028		
ϕ 21 mm (2 LPM)	3	1.25	0.416667	0.021233		
ϕ 23 mm (2 LPM)	3	1.3	0.433333	0.019033		
ϕ 25 mm (2 LPM)	3	1.12	0.373333	0.012433		
ϕ 27 mm (2 LPM)	3	1.08	0.36	0.0075		
ϕ 19 mm (3 LPM)	3	2.22	0.74	0.0604		
ϕ 21 mm (3 LPM)	3	1.93	0.643333	0.041033		
ϕ 23 mm (3 LPM)	3	1.78	0.593333	0.040133		
ϕ 25 mm (3 LPM)	3	1.99	0.663333	0.062533		
ϕ 27 mm (3 LPM)	3	1.98	0.66	0.0651		
ϕ 19 mm (4 LPM)	3	1.8	0.6	0.0273		
ϕ 21 mm (4 LPM)	3	1.81	0.603333	0.047233		
ϕ 23 mm (4 LPM)	3	1.78	0.593333	0.040133		
ϕ 25 mm (4 LPM)	3	1.84	0.613333	0.025433		
ϕ 27 mm (4 LPM)	3	2.02	0.673333	0.062533		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.789407	24	0.032892	0.928923	0.56601	1.73708
Within Groups	1.770435	50	0.035409			
Total	2.559842	74				

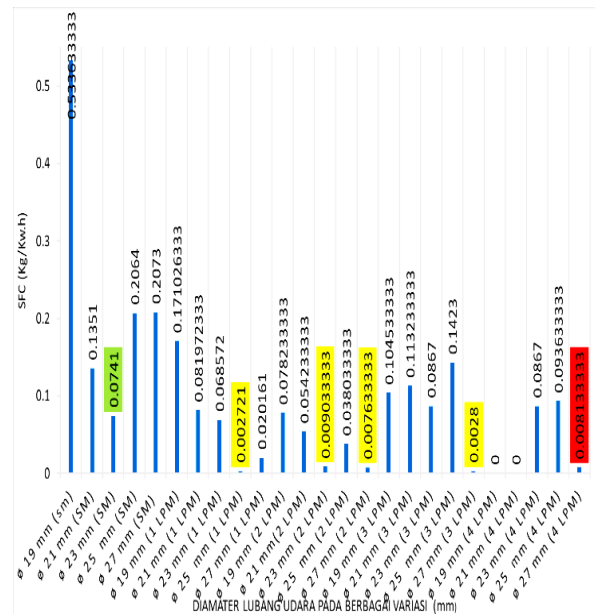
Tabel 7 menunjukkan bahwa $F < F_{crit}$ dan $P\text{-value} > \text{Alpha}$ maka variasi diameter tidak berpengaruh nyata terhadap SFC yang dihasilkan genset. Dengan demikian, pada beban Rendah yakni 300 – 900 Watt variasi diameter pada genset dengan solar murni maupun *dual fuel* tidak ada pengaruh perbedaan SFC yang dihasilkan pada masing-masing variasi beban. Selanjutnya analisis Anova kedua dilakukan pada beban 1200 Watt – 1800 Watt. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Data hasil analisis Anova perbandingan SFC yang dihasilkan genset berbahan bakar solar murni dan *dual fuel* pada beban 1200 – 1800 Watt

ANOVA: Single Factor				
SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
Ø 19 mm (sm)	3	2.02	0.673333	0.533633
Ø 21 mm (SM)	3	2.7	0.9	0.1351
Ø 23 mm (SM)	3	2.46	0.82	0.0741
Ø 25 mm (SM)	3	2.49	0.83	0.2064
Ø 27 mm (SM)	3	2.97	0.99	0.2073
Ø 19 mm (1 LPM)	3	1.387	0.462333	0.171026
Ø 21 mm (1 LPM)	3	0.989	0.329667	0.081972
Ø 23 mm (1 LPM)	3	0.906	0.302	0.068572
Ø 25 mm (1 LPM)	3	1.569	0.523	0.002721
Ø 27 mm (1 LPM)	3	1.896	0.632	0.020161
Ø 19 mm (2 LPM)	3	0.95	0.316667	0.078233
Ø 21 mm (2 LPM)	3	1.63	0.543333	0.054233
Ø 23 mm (2 LPM)	3	1.37	0.456667	0.009033
Ø 25 mm (2 LPM)	3	1.43	0.476667	0.038033
Ø 27 mm (2 LPM)	3	1.18	0.393333	0.007633
Ø 19 mm (3 LPM)	3	0.56	0.186667	0.104533
Ø 21 mm (3 LPM)	3	1.15	0.383333	0.113233
Ø 23 mm (3 LPM)	3	0.51	0.17	0.0867
Ø 25 mm (3 LPM)	3	1.26	0.42	0.1423
Ø 27 mm (3 LPM)	3	1.5	0.5	0.0028
Ø 19 mm (4 LPM)	3	0	0	0
Ø 21 mm (4 LPM)	3	0	0	0
Ø 23 mm (4 LPM)	3	0.51	0.17	0.0867
Ø 25 mm (4 LPM)	3	0.53	0.176667	0.093633
Ø 27 mm (4 LPM)	3	1.76	0.586667	0.008133

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4.9893	24	0.207887	2.234207	0.008309	1.73708
Within Groups	4.6524	50	0.093047			
Total	9.6417	74				

Tabel 8 menunjukkan bahwa $F > F_{crit}$ dan $P\text{-value} < \text{Alpha}$, maka variasi diameter berpengaruh nyata terhadap SFC yang dihasilkan genset. Dengan demikian pada beban tinggi yakni 1200 – 1800 Watt variasi diameter pada genset dengan solar murni maupun *dual fuel* ada pengaruh perbedaan SFC yang dihasilkan pada masing-masing variasi beban. Selanjutnya untuk mengetahui daya tertinggi dilakukan uji lanjut dalam diagram batang, seperti terlihat pada grafik gambar 5. Jika dibandingkan dengan bahan bakar solar murni, terlihat bahwa penambahan bahan bakar gas yang tersubstitusi dengan solar jauh lebih hemat dan lebih efektif dibandingkan hanya menggunakan solar saja. SFC terendah terjadi pada variasi dengan laju aliran gas LPG 1 LPM, pada diameter lubang udara 25 mm, yakni sebesar 0,002721 kg/kWh. Diikuti dengan variasi pada laju aliran gas LPG 3 LPM, pada diameter lubang udara 27 mm sebesar 0,0028 kg/kWh, laju aliran gas LPG 2 LPM, pada diameter lubang udara 27 mm sebesar 0,00763 kg/kWh dan laju aliran gas LPG 2 LPM, pada diameter lubang udara 23 mm sebesar 0,00903 kg/kWh.



Gambar 5. Grafik hubungan SFC dengan diameter lubang udara pada berbagai variasi

Untuk variasi diameter lubang udara yang menghasilkan daya tertinggi terjadi pada variasi diameter lubang 27 mm pada penambahan laju aliran gas LPG sebesar 3 LPM yakni sebesar 1548 Watt diperoleh SFC sebesar 0,0028 kg/kWh. nilai ini masih lebih tinggi jika dibandingkan variasi dengan laju aliran gas LPG 1 LPM, pada diameter lubang udara 25 mm. Semakin rendah nilai SFC maka semakin efisien pemakaian bahan bakarnya [22]. Dari penelitian ini dapat ditentukan bahwa untuk mendapatkan daya tertinggi dengan pemakaian bahan bakar yang cukup efisien bisa digunakan bahan bakar *dual fuel* dengan variasi pada laju aliran gas LPG 3 LPM, pada diameter lubang udara 27 mm. Namun jika diinginkan bahan bakar yang paling efisien bisa digunakan variasi dengan laju aliran gas LPG 1 LPM, pada diameter lubang udara 25 mm, dengan konsekuensi terjadi penurunan daya. Disarankan agar didapatkan kondisi yang ideal (daya dan SFC ideal) digunakan variasi *dual fuel* dengan laju aliran gas LPG 2 LPM, pada diameter lubang udara 23 mm.

4. KESIMPULAN

Temuan utama dari penelitian ini berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan yakni penambahan gas LPG dengan laju aliran 1 LPM, 2 LPM dan 3 LPM menyebabkan terjadinya peningkatan daya dari mesin diesel dan penurunan SFC dibandingkan jika hanya menggunakan solar tanpa campuran gas LPG. Namun hasil analisis Anova hanya terjadi secara signifikan pada beban tinggi. Variasi dengan daya tertinggi terjadi pada diameter lubang 27 mm pada laju aliran LPG 3 LPM yakni sebesar 1548 Watt. SFC terendah terjadi pada variasi dengan laju aliran gas LPG 1 LPM, pada diameter lubang udara 25 mm yakni sebesar 0,002721 kg/kWh. Dengan demikian penemuan ini cukup penting dilakukan untuk menentukan komposisi laju aliran LPG dan diameter lubang udara yang sesuai saat menggunakan genset diesel *dual fuel*. Komposisi yang tepat pada sistem *dual fuel* ini diharapkan akan memberikan dampak positif pada solusi penghematan solar.

Keterbatasan pada penelitian ini yakni daya dan SFC terbaik tidak terjadi pada variasi yang sama, untuk itu perlu dilakukan riset lebih lanjut. Keterbatasan lain yakni jika mesin mati tiba-tiba maka laju aliran LPG belum bisa terhenti 100% meskipun sudah terdapat katup otomatis. tentu hal ini sangat membahayakan. Disarankan ada riset tambahan katup pengaman LPG ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu atas bantuan dana penelitian melalui program penelitian unggulan FT UNIB tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ariwanto and A. B. K. Putra, "Analisa Energi dan Eksergi Unjuk Kerja Mesin Diesel Dual Fuel Diesel-Syngas Hasil Gasifikasi Woodchips dengan Perubahan Air Fuel Ratio dan Beban Daya," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, pp. 2337–3539, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.79546.
- [2] F. Martha, Prima, "Bos Pertamina: Ini Biang Kerok Solar Langka di Sejumlah Daerah Bos," *Bisnis.com*, pp. 1–13, 2022, [Online]. Available: <https://ekonomi.bisnis.com/read/20220328/44/1516143/bos-pertamina-ini-biang-kerok-solar-langka-di-sejumlah-daerah>.
- [3] Sulaeman, "Kelangkaan Solar Bersubsidi Bisa Picu Kenaikan Harga Sembako," *Merdeka.Com*, 2022, [Online]. Available: <https://www.merdeka.com/uang/kelangkaan-solar-bersubsidi-bisa-picu-kenaikan-harga-sembako.html>.
- [4] A. Umah, "Gas Melimpah , Tapi BBG Mati Suri , Ini Segudang Masalahnya," *CNBC Indones.*, pp. 1–7, 2021, [Online]. Available: <https://www.cnbcindonesia.com/news/20210423154151-4-240369/gas-melimpah-tapi-bbg-mati-suri-ini-segudang-masalahnya>.
- [5] S. Mustafa, S. N. Fitri, A. Mushaddiq, Firman, and Herna, "Efisiensi Konsumsi Gas Sebagai Pembangkit Energi Listrik Pada Mesin Generator Set," *J. Electr. Enggining*, vol. 2, no. 2, pp. 94–99, 2021, doi: <https://doi.org/10.1234/joule.v2i2.195>.
- [6] M. Aydin, A. Irgin, and M. B. Çelik, "The impact of diesel/LPG dual fuel on performance and emissions in a single cylinder diesel generator," *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 5, pp. 1–14, 2018, doi: 10.3390/app8050825.
- [7] G. Wijaya, N. T. Tirta, and S. Wayan, "Mengubah (Converting) Mesin Genset Diesel Silinder Tunggal Menjadi Berbahan Bakar Fleksibel Biogas Atau LPG," *J. Ilm. Tek. Kim.*, vol. 7, no. 2, pp. 136–142, 2018, [Online]. Available: <https://erepo.unud.ac.id/id/eprint/22201/>.
- [8] H. Tarigonda, B. Anjaneyulu, R. Raghurami Reddy, and K. L. Narasimhamu, "Optimization of performance and emission characteristics of a diesel engine in dual-fuel mode with LPG using adaptive-neuro fuzzy inference system model," *Mater. Today Proc.*, no. March, pp. 1–6, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.02.290.
- [9] A. Nugroho, I. B. Walujo, and N. Sinaga, "Kaji Eksperimental Penggunaan Dual Fuel Pada Mesin Diesel Berbahan Bakar Dexlite –LPG," *J. Ilm. Momentum*, vol. 16, no. 1, 2020.
- [10] S. U. Permana and U. Diponegoro, "Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar LPG Melalui Sistem Dual Fuel Terhadap Performa Mesin Dan Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel," 2020.
- [11] A. Iswanto, I. M. Ariana, S. Semin, A. Z. M. Fathallah, and B. Cahyono, "Pembuatan Converter-kit Dual Fuel LPG-Diesel Fuel untuk Nelayan di Daerah Kenjeran Surabaya," *Sewagati*, vol. 6, no. 6, pp. 711–720, 2022, doi:

- 10.12962/j26139960.v6i6.235.
- [12] A. Kuncoro, Ma'muri, W. S. Wasis, and S. Wisnugroho, "LPG Sebagai Energi Alternatif Untuk Bahan Bakar Dual-Fuel Mesin Diesel Kapal Nelayan," no. November, pp. 1–12, 2016.
- [13] A. Rizkal and B. Sudarmanta, "Karakterisasi Unjuk Kerja Diesel Engine Generator Set Sistem Dual Fuel Solar-Syngas Hasil Gasifikasi Briket Municipal Solid Waste (MSW) Secara Langsung," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 2337–3539, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.20017.
- [14] R. Djafar and A. S. Ginting, "Uji Kinerja Mesin Diesel Generator Menggunakan Bahan Bakar Mode Sistem Dual Fuel Solar Dan Syngas Hasil Gasifikasi Dari Tongkol Jagung," *J. Technopreneur*, vol. 7, no. 2, pp. 92–98, 2019, doi: 10.30869/jtech.v7i2.388.
- [15] Y. Witanto, A. Nuramal, and M. K. A. Rosa, "Pengaruh Campuran LPG Dan Udara Terhadap Kemudahan Penyalaan Awal Genset 4 Langkah," *AME (Aplikasi Mek. dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 97–103, 2022, doi: 10.32832/ame.v8i2.7095.
- [16] K. C. B. Artayana, I. G. B. W. Kusum, and I. W. B. Adnyana, "Pengaruh variasi konverter biogas terhadap unjuk kerja pada mesin genset berkapasitas 1200 Watt," *Logic*, vol. 14, no. 3, pp. 199–206, 2014, [Online]. Available: <http://ojs.pnb.ac.id/index.php/LOGIC/article/view/353/304>.
- [17] H. Hamri, A. Amri, K. Kamil, F. Habib, and ..., "Analisis Prestasi Mesin Dengan Menggunakan Bahan Bakar Gas," *J-Move J. Tek. ...*, pp. 18–24, 2019, [Online]. Available: <https://engjournalumi.com/index.php/J-Move/article/view/24>.
- [18] G. Mager, H. Ambarita, T. B. Sitorus, D. M. Nasution, and S. Gultom, "Kajian Performansi Mesin Genset Diesel Satu Silinder dengan Campuran Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar LPG Melalui Vaccum Regulator," *J. Din.*, vol. 5, no. 2, pp. 26–35, 2017.
- [19] T. Turmizi, "Uji performansi mesin yanmar TS 50 menggunakan bahan bakar biodiesel dari minyak kepayang (pangium edule)," *J. POLIMESIN*, vol. 14, no. 2, 2016.
- [20] A. Gunardi, M. S. Wibowo, V. Panjaitan, L. Trisnaliani, and S. Pujiastuti, "Analisis Kinerja Genset Berbahan Bakar Biogas dan Biometan Pada Unit CLPDTR," *Pros. Semin. Mhs. Tek. Kim.*, vol. 01, no. 01, pp. 6–10, 2020.
- [21] J. L. Marpaung, A. Sutrisno, and R. Lumintang, "Penerapan Metode Anova Untuk Analisis Sifat Mekanik Komposit Serabut Kelapa," *J. Online Poros Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 151–162, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/poro>
- [22] J. Jamal, C. Bhuana, and F. Alihar, "Analisis Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto," *Sinergi*, vol. 18, no. 1, pp. 20–28, 2020, doi: 10.31963/sinergi.v18i1.2233.