

Analisis Effect of Ethanol–LPG Dual Fuel on Output Voltage Stability of a Four-Stroke Generator

Yovan Witanto^{1*}, Agus Nuramal¹, Samuel Yoga Pratama Lumbantobing¹, Helmizar¹, Khairul Amri Rosa²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu
Jl. W.R Supratman Kandang Limun Bengkulu, Indonesia

*Corresponding author : yovanmail@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze the effect of load variation on the output voltage of a modified four-stroke generator using a dual-fuel system consisting of ethanol and liquefied petroleum gas (LPG). Ethanol 96% was used as the primary fuel, while LPG was injected through an ideal mixture screw with the aid of a converter kit, pressure regulator, and flowmeter to control gas flow. The test subject was a modified Yasuka 1500DC gasoline generator. Experiments were conducted using incandescent lamp loads ranging from 200 to 1000 watts, in 200-watt intervals, each applied for 2 minutes at a constant engine speed. The observed parameters included fuel consumption and output voltage. The LPG flow rates tested were 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8 liters per minute. The results showed that the ethanol–LPG combination at a flow rate of 0.8 l/min produced the highest and most stable voltage output, remaining above the safe threshold of 198 volts. Compared to pure ethanol or gasoline, the dual-fuel system was more effective in maintaining voltage under high load conditions. This is attributed to LPG's high calorific value and its ease of mixing with air, which enhances combustion quality.

Keywords: energy dual fuel, LPG, ethanol, generator

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi pembebanan terhadap tegangan keluaran genset 4 langkah yang dimodifikasi menggunakan sistem bahan bakar ganda (*dual fuel*) berupa campuran etanol dan LPG. Etanol 96% digunakan sebagai bahan bakar utama, sementara LPG disuntikkan melalui *ideal mixture screw* menggunakan *converter kit*, regulator, dan *flowmeter* untuk mengatur debit gas. Objek penelitian adalah genset bensin Yasuka 1500DC yang telah dimodifikasi. Pengujian dilakukan pada beban lampu pijar 200 hingga 1000 watt dengan interval 200 watt, masing-masing selama 2 menit pada putaran mesin konstan. Parameter yang diamati meliputi konsumsi bahan bakar dan tegangan keluaran. Variasi debit LPG yang digunakan adalah 0,2; 0,4; 0,6; dan 0,8 l/min. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi etanol dan LPG pada debit 0,8 l/min menghasilkan tegangan tertinggi dan paling stabil, tetap di atas batas aman 198 volt. Dibandingkan etanol murni atau bensin, sistem *dual fuel* ini lebih efektif dalam mempertahankan tegangan pada beban tinggi karena LPG memiliki nilai kalor tinggi dan mudah bercampur dengan udara, sehingga meningkatkan kualitas pembakaran.

Kata kunci: dual fuel, etanol, LPG, genset, tegangan listrik

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi, sehingga diperlukan perencanaan strategis untuk menjamin pasokan energi di masa mendatang [1][2]. Namun, dalam praktiknya, tidak semua wilayah dapat menikmati aliran listrik secara stabil dan berkesinambungan. Dalam kondisi tersebut, genset menjadi solusi penting untuk menjaga pasokan listrik saat terjadi pemadaman. Sebagai sumber listrik

cadangan, genset memungkinkan aktivitas masyarakat dan layanan publik tetap berjalan. Kemudahan operasional, fleksibilitas pemasangan, dan variasi kapasitas daya menjadikannya pilihan utama untuk kebutuhan listrik darurat dan mandiri skala kecil [3] [4] [5].

Etanol adalah bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan. Selain mengurangi emisi karbon, etanol dapat dicampur dengan bensin (misalnya E10 atau E20) tanpa perlu modifikasi besar

pada mesin. Dengan sumber daya alam yang melimpah, Indonesia memiliki peluang besar dalam pengembangan etanol sebagai energi masa depan. [6][7]. Etanol dan metanol sama-sama jenis alkohol, namun berbeda dalam asal, kegunaan, dan tingkat toksisitas. Etanol berasal dari fermentasi bahan organik dan relatif aman dikonsumsi dalam jumlah terbatas. Sebaliknya, metanol diproduksi secara sintesis dan sangat beracun. Etanol banyak digunakan sebagai bahan bakar, pelarut, dan minuman beralkohol, sedangkan metanol lebih umum dipakai dalam industri.[8]

Semakin tinggi kandungan etanol dalam bensin, nilai kalor campuran menurun, sehingga temperatur pembakaran menjadi lebih rendah. Hal ini menyebabkan nyala api berlangsung lebih lama. Penambahan etanol di atas 20% memperlambat pembakaran akibat meningkatnya kalor laten penguapan dan lemahnya *micro-explosion*, yang menurunkan kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar [9]. Penggunaan campuran bensin dengan etanol dan fusel oil menurunkan kinerja mesin namun memberikan manfaat lingkungan. Hasil ini menunjukkan adanya kompromi antara performa mesin dan pengurangan emisi[10].

Penggunaan etanol secara murni pada mesin menghasilkan performa mesin rendah dari pada penggunaan bahan bakar minyak. Etanol memiliki nilai kalor rendah dari bensin sehingga penambahan etanol dalam bahan bakar campuran menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar namun prosentase etanol dalam bahan bakar campuran bensin-etanol tidak berpengaruh terhadap efisiensi termal efektif motor bakar. Selain itu sifat volatilitas atau kemampuan bahan bakar untuk cepat menguap, dari etanol cukup rendah dibandingkan dengan bensin. Hal ini mengakibatkan motor bakar akan sulit hidup pada suhu mesin yang rendah terutama sekali pada saat start awal sebelum motor bakar dihidupkan [11]. Pencampuran solar-etanol pada mesin diesel berperan penting dalam mengurangi emisi mesin, tetapi

memiliki dampak negatif tertentu pada karakteristik pembakaran mesin diesel ini menyebabkan performa dan efisiensi mesin dapat menurun apabila etanol digunakan secara murni tanpa modifikasi atau kombinasi bahan bakar lain [12].

Penggunaan bahan bakar LPG merupakan salah satu alternatif penggunaan bensin yang ramah lingkungan. Penggunaan bahan bakar LPG menyebabkan penurunan performa motor, hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik pembakaran antara LPG dan bensin. Hal ini dapat diatasi dengan mengatur ulang waktu penyalaan sesuai dengan karakteristik pembakaran LPG. [13]. LPG diharapkan dapat digunakan sebagai bahan bakar sekunder untuk menggantikan bahan bakar primer. LPG untuk otomotif di Indonesia disebut dengan LGV (Liquified Gas for Vehicle). Untuk dapat mengkonsumsi bahan bakar LGV menggunakan mesin yang dirancang menggunakan bahan bakar minyak, pengguna kendaraan bermotor memerlukan converter kit[14]. Optimalisasi penggunaan LPG pada genset 4-tak dicapai pada laju aliran 4–5 L/min dengan choke valve terbuka penuh. Kondisi ini menghasilkan pembakaran ideal dan daya optimal, sehingga konsumsi LPG menjadi lebih hemat.[15]. Variasi laju aliran LPG dan diameter lubang udara pada intake manifold berpengaruh signifikan terhadap kinerja genset diesel dual fuel. Penambahan LPG meningkatkan daya listrik, terutama pada beban tinggi, dengan hasil terbaik tercapai pada aliran 3 LPM dan diameter 27 mm, yaitu sebesar 1548 Watt. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) menunjukkan efisiensi tertinggi pada aliran 1 LPM dengan diameter 25 mm, mencapai 0,002721 kg/kWh. Penggunaan LPG sebagai substitusi parsial solar terbukti lebih hemat dan efisien dibandingkan solar murni, serta mendukung pengembangan teknologi mesin yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan[16]. Genset berbahan bakar LPG akan lebih mudah dinyalakan jika campuran LPG dan udara sesuai. Kombinasi paling efektif untuk penyalaan awal tercapai pada laju

aliran gas 3 L/min dengan katup udara tertutup rapat, memanfaatkan celah choke standar karburator berdiameter 6 mm untuk pasokan udara.[17]

Penggunaan campuran bahan bakar LPG-etanol pada mesin bensin empat langkah mampu meningkatkan efisiensi termal rem (*brake thermal efficiency*) dibandingkan dengan penggunaan bensin murni. Meskipun demikian, suhu gas buang tercatat lebih tinggi saat menggunakan campuran tersebut. Dari sisi emisi, kadar karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) mengalami penurunan, sementara emisi nitrogen oksida (NOx) justru meningkat seiring dengan bertambahnya persentase etanol dalam campuran [18]

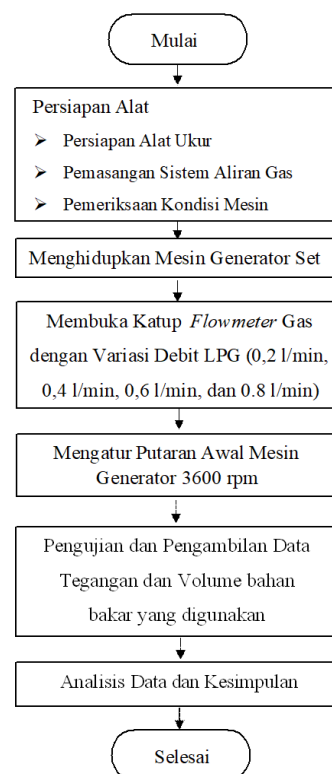
Perubahan suatu beban akan mempengaruhi tegangan keluaran generator. Apabila beban naik maka tegangan keluaran generator turun dan apabila beban turun maka tegangan keluaran generator naik [19] Generator berperan sangat penting dalam pembangkitan tenaga listrik. Adanya gangguan pada generator dapat mengganggu operasi dari sistem. Salah satu gangguan generator yaitu terjadinya gangguan perubahan nilai tegangan secara tiba-tiba atau terjadi tegangan berlebih (*overvoltage*) yang diakibatkan oleh pelepasan beban dalam sistem interkoneksi[20].

Ketersediaan genset berbahan bakar gas di Indonesia masih sangat jarang, sehingga dibutuhkan peralatan tambahan seperti regulator, kit konverter, dan alat pencampur udara dengan gas agar dapat digunakan pada genset bensin. Metode yang digunakan adalah membandingkan kinerja mesin dengan memvariasikan nilai tekanan masukan genset, yaitu 0,5 bar dan 0,03 bar. Hasil pengujian, tegangan dan frekuensi yang dihasilkan genset masih dalam batas normal yang ditentukan, suhu gas buang dan tingkat kebisingan yang dihasilkan ketika tekanan masukan 0,5 bar dan 0,03 bar relatif sama, dan nilai SFC yang dihasilkan ketika tekanan masukan 0,5 bar lebih kecil 5,7-25% dibandingkan dengan nilai SFC pada tekanan masukan 0,03 bar [21].

Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi pembebanan terhadap tegangan keluaran genset 4 langkah yang dimodifikasi menggunakan sistem bahan bakar ganda (*dual fuel*) berupa campuran etanol dan LPG. Penelitian ini diharapkan dapat menaikkan performa mesin dengan menggunakan bahan bakar etanol secara murni yang disuplai LPG. Dengan demikian penelitian ini juga dapat menghasilkan standar penggunaan yang bisa dipakai langsung pada mesin.

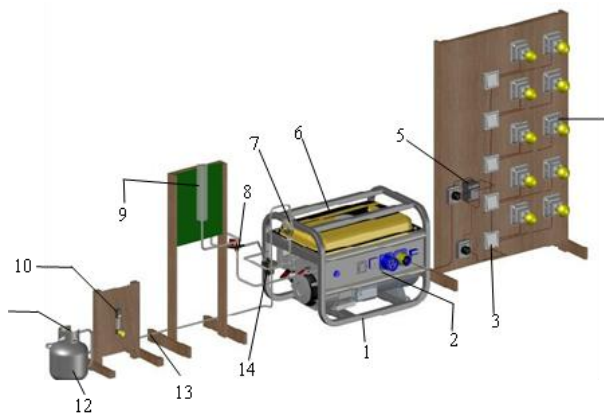
2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang menggunakan mesin genset gasoline yang dimodifikasi sehingga bisa diinjeksikan LPG. Variabel bebas berupa variasi debit LPG dan beban yang diberikan ke Genset. Sementara variabel terikat berupa tegangan keluaran genset dan volume bahan bakar yang digunakan selama pengujian. Berikut diagram alir penelitian seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Skema alat pengujian bahan bakar yang digunakan adalah seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Skema Alat Pengujian

Keterangan:

- | | |
|--|----------------------|
| 1. Mesin Generator | 8. Nepel cabang Y |
| 2. Panel kontrol mesin | 9. Tabung Ukur |
| 3. Stop kontak | 10. <i>Flowmeter</i> |
| 4. Pembebanan Lampu | 11. Regulator |
| 5. <i>Din rail digital led voltmeter</i> | 12. Tabung gas |
| 6. Tangki | 13. Selang gas |
| 7. Konverter kit | 14. Karburator |

Instalasi pengujian bahan bakar *dual fuel* (etanol + LPG) seperti terlihat pada gambar 2. Mesin Genset yang digunakan sebagai objek penelitian ini yaitu Mesin Yasuka 1500 DC dengan spesifikasi:

Tabel 1. Spesifikasi mesin Genset Yasuka 1500 DC

Model Number	YSK – 1500DC
Max. Power (watt)	1000
Rated power (watt)	850
Voltage (volt)	220
Frequency (Hz)	50
Current (A)	5.4
Max. Output (Hp)	3
Engine Type	Forced air cooled, 4 stroke, OHV
Starting System	Recoil Starter
Dimension (mm)	447 x 353 x 375
Berat (kg)	35

Etanol teknis 96% digunakan sebagai bahan bakar utama dalam pengujian. LPG

3kg yang umum tersedia di pasaran digunakan sebagai bahan bakar tambahan (sekunder) dan diinjeksikan langsung ke ruang bakar melalui karburator.

Variasi debit LPG yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,2; 0,4; 0,6; dan 0,8 liter per menit, yang diatur melalui flowmeter dan dijaga konsistensinya selama setiap siklus pengujian. Sebelum dilakukan pengambilan data, genset dinyalakan terlebih dahulu menggunakan bahan bakar bensin (Pertalite) hingga mencapai kondisi kerja stabil. Setelah itu, bahan bakar diganti dengan etanol, yang dituangkan ke dalam buret ukur hingga penuh, untuk memastikan suplai etanol murni ke ruang bakar.

Setelah suplai etanol siap, sistem suplai LPG diaktifkan dan dihubungkan ke karburator melalui selang dan flowmeter. Aliran gas diatur sesuai variasi debit yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan dengan memberikan pembebanan listrik bertahap menggunakan lampu pijar sebagai beban resistif. Variasi beban diberikan mulai dari 200 watt hingga 1000 watt, dengan interval kenaikan 200 watt.

Setiap tingkat pembebanan dijalankan selama 2 menit, dan selama proses ini putaran mesin dijaga tetap konstan untuk menjamin kestabilan kondisi uji.

Parameter yang diamati dalam setiap pengujian adalah:

- Tegangan keluaran genset (dalam satuan volt)
- Volume etanol yang dikonsumsi (ml)
- Debit aliran LPG (l/min)

Pengambilan data dilakukan setelah mesin mencapai kondisi steady state, yaitu ketika suara mesin dan putaran stabil. Setiap kombinasi variasi beban dan debit LPG diuji secara terpisah dan berulang untuk menjamin keakuratan data. Data kemudian dicatat secara sistematis dan dilakukan proses pengolahan untuk mengetahui pengaruh masing-masing perlakuan terhadap kestabilan tegangan listrik.

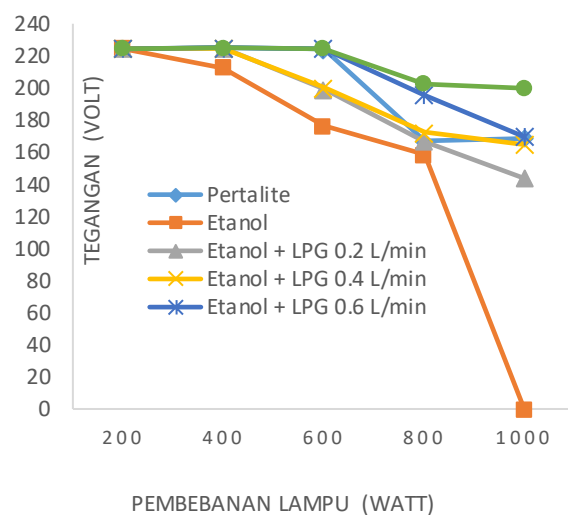
Tegangan listrik rumah tangga di Indonesia umumnya memiliki nilai nominal 220–230 V AC. Tegangan dianggap stabil jika berada dalam rentang toleransi $\pm 10\%$,

yaitu sekitar 198–242 V untuk sistem 220 V atau 207–253 V untuk sistem 230 V. Tegangan di bawah batas tersebut disebut drop tegangan, yang dapat menyebabkan kerusakan alat elektronik. Oleh karena itu, menjaga tegangan tetap dalam batas aman sangat penting untuk melindungi peralatan listrik dan menjamin kontinuitas pemakaian listrik di rumah tangga [22] [23].

Setelah seluruh data terkumpul, dilakukan analisis komparatif terhadap semua variasi campuran bahan bakar dan pembebanan untuk menentukan kombinasi paling optimal dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Tegangan vs Pembebanan

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada pembebanan lampu dari 200Watt – 1000Watt dari enam jenis bahan bakar yang digunakan memiliki tren grafik yang cenderung sama.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi pembebanan berpengaruh signifikan terhadap tegangan keluaran genset. Secara umum, peningkatan beban menyebabkan penurunan tegangan, yang sejalan dengan teori sistem pembangkitan listrik bahwa tegangan akan turun ketika daya beban

melebihi suplai daya mesin [19]. Hal ini mencerminkan pentingnya pengaturan beban dalam mempertahankan kestabilan output generator, terutama pada sistem suplai cadangan seperti genset [20].

Penurunan tegangan lebih nyata pada penggunaan etanol murni, terutama pada pembebanan di atas 600 watt. Etanol memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan bensin, sehingga energi pembakaran yang dihasilkan pun lebih kecil. Akibatnya, putaran mesin menurun dan tegangan output menjadi tidak stabil [11]. Selain itu, volatilitas etanol yang rendah menyulitkan proses pembakaran pada suhu dingin atau saat mesin belum mencapai temperatur kerja optimal, yang berdampak pada efisiensi pembakaran dan performa mesin secara keseluruhan [9], [11]. Oleh karena itu, penggunaan etanol murni cenderung menghasilkan performa yang kurang optimal tanpa dukungan bahan tambahan atau modifikasi sistem [12].

Sebaliknya, pencampuran etanol dengan LPG sebagai bahan bakar ganda (dual fuel) menunjukkan kinerja yang lebih baik. Penambahan LPG dalam berbagai debit (0,2–0,8 L/min) secara konsisten meningkatkan tegangan keluaran, karena LPG memiliki nilai kalor tinggi dan mudah bercampur dengan udara secara homogen [13], [14]. Sifat fisik LPG yang berupa gas mempercepat proses pencampuran dan pembakaran, sehingga menghasilkan energi termal yang lebih besar dan menjaga kestabilan putaran mesin. Hal ini mendukung tegangan output tetap berada dalam batas aman bahkan pada pembebanan tinggi [15], [16].

Campuran terbaik diperoleh pada etanol + LPG dengan debit 0,8 L/min. Tegangan yang dihasilkan tidak hanya stabil dan berada di atas batas minimal (198 volt), tetapi juga melampaui tegangan dari bensin murni (Pertalite). Ini menunjukkan bahwa kombinasi bahan bakar tersebut mampu menyeimbangkan efisiensi dan kestabilan pembakaran [18], sekaligus mengatasi kelemahan etanol murni.

Dari sisi lingkungan, sistem dual fuel ini menawarkan emisi yang lebih bersih. Meskipun suhu gas buang lebih tinggi, emisi CO dan HC cenderung menurun, sementara peningkatan NOx menjadi konsekuensi dari suhu pembakaran yang lebih tinggi akibat kehadiran LPG dan peningkatan kandungan etanol [18]. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem dual fuel etanol-LPG bukan hanya efisien secara teknis, tetapi juga ramah lingkungan.

Secara aplikatif, penggunaan sistem bahan bakar ganda sangat relevan untuk kebutuhan listrik rumah tangga dan skala kecil, terutama di daerah dengan akses terbatas terhadap BBM atau jaringan listrik PLN [1], [2], [3]. Sistem ini juga menjadi alternatif yang menjanjikan mengingat ketersediaan etanol dari bahan alami dan keunggulan LPG yang ekonomis serta mudah dalam penyimpanan dan distribusi [6], [7], [14]. Namun, perlu diperhatikan bahwa penggunaan LPG pada genset bensin tetap membutuhkan penyesuaian seperti pemasangan converter kit dan pengaturan debit gas yang tepat agar sistem bekerja optimal [14], [21].

Dengan demikian, penelitian ini mengonfirmasi bahwa campuran etanol-LPG mampu menjaga kestabilan tegangan dan meningkatkan performa genset empat langkah, khususnya pada beban menengah hingga tinggi. Sistem ini tidak memerlukan modifikasi kompleks namun menghasilkan efisiensi termal yang baik, sehingga layak dikembangkan sebagai solusi energi alternatif masa depan [4], [5], [18].

Pengaruh variasi bahan bakar terhadap pembebanan lampu yang digunakan terhadap tegangan listrik generator set dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2 menunjukkan bahwa variasi bahan bakar mempengaruhi kemampuan genset dalam menopang beban. Campuran etanol + LPG 0,8 l/min mampu menghasilkan beban maksimum hingga 1000 watt, lebih tinggi dibandingkan etanol murni (400 watt) maupun Pertalite (600 watt). Sementara kombinasi etanol dengan

LPG pada debit 0,2–0,6 l/min hanya mencapai 600 watt.

Tabel 2. Pengaruh variasi bahan bakar terhadap pembebanan lampu

Bahan Bakar	Beban Maksimal (watt)
Pertalite	600
Etanol	400
Etanol + LPG 0,2 l/min	600
Etanol + LPG 0,4 l/min	600
Etanol + LPG 0,6 l/min	600
Etanol + LPG 0,8 l/min	1000

Secara teori, etanol memiliki nilai kalor yang lebih rendah (sekitar 27 MJ/kg) dibandingkan bensin maupun LPG, sehingga menghasilkan energi pembakaran yang relatif kecil [11]. Kondisi ini menyebabkan penurunan tegangan lebih cepat saat beban meningkat, karena energi yang dihasilkan tidak cukup untuk mempertahankan putaran mesin secara optimal [9], [12].

Penambahan LPG ke dalam campuran bahan bakar terbukti meningkatkan efisiensi pembakaran. LPG memiliki nilai kalor yang tinggi dan bersifat gas, sehingga mudah bercampur secara homogen dengan udara. Hal ini menghasilkan proses pembakaran yang lebih sempurna, menjaga stabilitas putaran mesin, dan mempertahankan tegangan keluaran pada tingkat yang lebih tinggi [13], [14].

Hasil optimal diperoleh pada campuran etanol + LPG dengan laju aliran 0,8 liter per menit. Dalam kondisi ini, tegangan tetap berada di atas ambang batas aman (198 volt) meskipun pada beban maksimum. Temuan ini mendukung teori bahwa sistem dual fuel LPG-etanol mampu meningkatkan efisiensi termal, menurunkan emisi gas buang seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC), serta memperbaiki performa mesin pembakaran dalam secara keseluruhan [18].

Dengan mempertimbangkan efisiensi, kestabilan tegangan, dan dampak

lingkungan, konfigurasi dual fuel etanol–LPG layak direkomendasikan untuk penggunaan pada genset bensin empat langkah skala kecil, khususnya di daerah yang membutuhkan solusi energi alternatif yang ekonomis dan berkelanjutan [1], [3], [6].

4. Kesimpulan

Penggunaan bahan bakar etanol yang dicampur dengan LPG terbukti mampu meningkatkan tegangan keluaran genset dibandingkan penggunaan etanol murni. Hal ini disebabkan oleh karakteristik LPG yang memiliki nilai kalor tinggi dan berbentuk gas, sehingga mudah bercampur secara homogen dengan udara dan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna. Peningkatan kualitas pembakaran ini berdampak langsung pada stabilitas putaran mesin dan kestabilan tegangan listrik yang dihasilkan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi etanol + LPG 0,8 l/min mampu mendukung pembebanan maksimal hingga 1000 watt, dengan tegangan tetap berada di atas batas aman 198 volt. Dengan demikian, konfigurasi bahan bakar ini dapat direkomendasikan sebagai sistem dual fuel yang efisien dan stabil untuk aplikasi genset bensin empat langkah skala kecil.

Ucapan terimakasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Bengkulu yang sangat berperan dalam sumber pendanaan penelitian. Selain itu, juga kami mengucapkan terimakasih kepada prodi teknik mesin Fakultas Teknik Unib, yang menyediakan fasilitas peralatan Lab guna mendukung kegiatan penelitian ini.

Referensi

[1] A. Ammarullah, “Analisis Estimasi Kebutuhan Listrik Untuk Memenuhi Kebutuhan Smart Grid Di Jawa Barat Sampai Tahun 2032,” *EDUSAINTEK: Jurnal Pendidikan,*

- Sains dan Teknologi*, vol. 11, no. 3, May 2024, doi: 10.47668/edusaintek.v11i3.1250.
- [2] A. S. F. Rajagukguk, M. Pakiding, and M. Rumbayan, “Kajian Perencanaan Kebutuhan dan Pemenuhan Energi Listrik di Kota Manado,” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 4, no. 3, pp. 1–11, May 2015, doi: <https://doi.org/10.35793/jtek.v4i3.7972>.
- [3] D. Aribowo, D. Ahlan Fauzan Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, and U. Sultan Ageng Tirtayasa, “Sistem Perawatan Mesin Genset Di Pt (Persero) Pelabuhan Indonesia II,” *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, vol. 3, no. 1, pp. 580–594, 2020.
- [4] Rusman and Shanty, “Rancang Bangun Sistem Pengisian Baterai Otomatis Genset Tipe Rider di Kampus Kemaritiman Polnes Samarinda,” *Turbo*, vol. 3, no. 2, pp. 2301–6663, Dec. 2014.
- [5] S. Agustina, Herlina, Hermawati, I. Zaid Muhlasim, R. Cahyadi, and E. Sumindra, “Enhancing the Performance of Motor Generator Sets by Improving the Transmission System,” *Jurnal Otomasi Kelistrikan dan Energi Terbarukan*, vol. 6, no. 2, pp. 54–63, 2024.
- [6] Rifdah, U. Kalsum, and I. S. Anugrah, “The Effect Of *Saccharomyces Cerevisiae* On Ethanol Levels From Fermentation Of Pineapple Peel,” *Jurnal Teknik Patra Akademika*, vol. 13, no. 2, pp. 115–126, Dec. 2022.
- [7] A. Harijono, B. Hertomo, and Kasijanto, “Penggunaan Bioetanol Sebagai Alternatif Campuran Bahan Bakar Pada Mesin Otto,” *Jurnal Rekayasa Energi Dan Mekanika*, vol. 01, no. 02, pp. 54–64, 2021.
- [8] M. R. Asrori, S. Sutrisno, and H. W. Wijaya, “Metanol dan Etanol:

- Produksi, Karakterisasi, Eksplorasi, dan Pemberdayaan Sumber Daya Alamnya,” in *Prosiding SNKP 2020 Sinergi Kimia dan Pendidikan Kimia untuk Menyiapkan Generasi di Era Disruptif*, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang, Oct. 2020, pp. 179–196.
- [9] A. Arwin, A. M. Marali, H. Dwimas, and Y. Z. Yusrina, “Pengaruh Komposisi Campuran Bahan Bakar Etanol Bensin Terhadap Temperatur Dan Lama Nyala Api Pada Pembakaran Droplet,” *Sebatik*, vol. 27, no. 1, pp. 287–293, Jun. 2023, doi: 10.46984/sebatik.v27i1.2281.
- [10] S. M. Rosdi, Erdiwansyah, M. F. Ghazali, and R. Mamat, “Evaluation of engine performance and emissions using blends of gasoline, ethanol, and fusel oil,” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 11, p. 101065, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.CSCEE.2024.101065.
- [11] M. N. Sasongko, “Pengaruh Presentase Etanol Terhadap Daya dan Konsumsi Bahan Bakar Mesin Pembakaran Busi,” *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, vol. 9, no. 2, pp. 147–149, 2016.
- [12] Z. Zhang *et al.*, “Effects of different diesel-ethanol dual fuel ratio on performance and emission characteristics of diesel engine,” *Processes*, vol. 9, no. 7, Jul. 2021, doi: 10.3390/pr9071135.
- [13] P. Kristiyanto, N. Ilminnafik, and M. E. Ramadhan, “Analisis Torsi Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Lpg dengan Beda Sudut Pengapian,” *Jurnal Stator*, vol. 1, no. 1, pp. 49–52, 2018.
- [14] I. Kurniaty and H. Hermansyah, “Potensi Pemanfaatan LPG sebagai Bahan Bakar bagi Pengguna Kendaraan Bermotor,” *Jurnal Semnastek*, no. November, pp. 1–5, 2016.
- [15] Y. Witanto and B. D. Leonada, “Optimasi Pemanfaatan Liquid Petroleum Gas Sebagai Bahan Bakar Genset Untuk Mendukung Program Penghematan Energi,” *JURNAL Teknik Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 194–199, 2023.
- [16] Y. Witanto, I. Amsah, D. Zukri, A. Nuramal, and M. K. A. Rosa, “Performance Analysis of Dual Fuel Diesel Generator with Variations in LPG Flow Rate and Air Hole Diameter,” *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 17, no. 2, p. 102, Dec. 2023, doi: 10.24853/sintek.17.2.102-112.
- [17] Y. Witanto, A. Nuramal, and M. Khairul Amri Rosa, “Pengaruh Campuran LPG Dan Udara Terhadap Kemudahan Penyalaan Awal Genset 4 Langkah,” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, p. 2022, Sep. 2022, [Online]. Available: <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/ame/index>
- [18] A. R. Warade and S. M. Lawankar, “Experimental Investigation On Use Of LPG-Ethanol Blends As A Fuel In Spark Ignition Engine,” *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 2, no. 6, pp. 3183–3187, Jun. 2013, [Online]. Available: www.ijert.org
- [19] R. G. Terimananda, N. Hariyanto, and Syahrial, “Studi Pengaturan Arus Eksitasi untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator di PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2,” *Teknik Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2016.
- [20] T. A. Putri, Supriyanto, and Y. P. Hikmat, “Pengaruh Kenaikan Tegangan Pada Penyulang Generator Unit 4 PLTP Kamojang Akibat Pelepasan Beban Menggunakan Software ETAP 12.6. 0,” *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 13–14, 2022.

- [21] Faiz Husnayain, Agung Budiyo, Fauzan Hanif Jufri, and I Made Ardita Y., “Studi Teknis Genset Termodifikasi Menggunakan Gas Alam dengan Variasi Tekanan Masukan,” *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 9, no. 3, pp. 319–325, 2020, doi: 10.22146/v9i3.393.
- [22] E. Supriyanto, A. W. Setyantoko, and M. Z. Silaturokhim, “Rancang Bangun Alat Pendeteksi Dini Untuk Drop Tegangan Berbasis SMS Gateway,” *JURNAL TELE*, vol. 13, no. 2, pp. 1–7, Oct. 2015, [Online]. Available: www.plnjateng.co.id,
- [23] Suganda, I. Ilyas, Sugianto, and H. Yulianto, “Analisis Tegangan Drop Jaringan Tegangan Rendah Dengan Metode Pembagian Beban,” *SAINSTECH*, vol. 32, no. 4, pp. 9–18, Dec. 2022.