

**STUDI PENCAMPURAN GAS LPG DAN HIDROGEN
SEBAGAI BAHAN BAKAR *LOW EMISSION VEHICLE***

Skripsi



Tugas Akhir

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Strata-1 Pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

Disusun Oleh :

Muhammad Arik Hawari

3331200066

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024**

TUGAS AKHIR

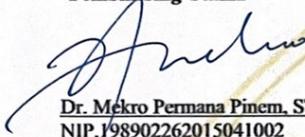
Studi Pencampuran Gas LPG dan Hidrogen sebagai bahan bakar Low-Emission Vehicle

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Muhammad Arik Hawari
3331200066

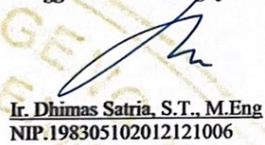
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 28 Juni 2024

Pembimbing Utama



Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.
NIP.198902262015041002

Anggota Dewan Penguji



Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng
NIP.198305102012121006



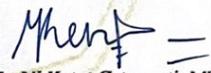
Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, MT.
NIP.196706022001122001



Ir. Dedy Triawan Suprayogi, ST., M. Eng., Ph. D.
NIP. 198206212022031001



Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.
NIP.198902262015041002



Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, MT.
NIP.196706022001122001

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal, 13 Agustus 2024
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA



Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng
NIP. 198305102012121006

PERSYARATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Arik Hawari

NPM : 3331200066

Judul :STUDI PENCAMPURAN GAS LPG DAN HIDROGEN
SEBAGAI BAHAN BAKAR LOW EMISSION VEHICLE

Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang disebutkan sumbernya

Cilegon, 15 Agustus 2024



Muhammad Arik Hawari
NPM.3331200066

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa. yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan proposal yang berjudul “Studi Pencampuran Gas LPG dan Hidrogen Sebagai Bahan Bakar Low emission Vehicle”.

Adapun tujuan dari penulisan dari proposal ini adalah untuk memenuhi syarat untuk mencapai gelar sarjana Teknik Strata (S1). Selain itu, proposal ini juga bertujuan untuk menambah wawasan tentang Studi Pencampuran Gas LPG dan Hidrogen Sebagai Bahan Bakar Low emission Vehicle.

Terlebih dahulu, saya mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan tugas ini sehingga dapat menambah pengetahuan dan wawasan sesuai dengan bidang studi yang saya tekuni ini. Terlebih saya berterimakasih kepada :

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
2. Bapak Haryadi S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Akademik
3. Bapak Dr.Mekro Permana S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan tenaga serta selalu membimbing saya selama proses penelitian.
4. Bapak Dr.Ir. Ni Ketut Caturwati,S.T.,M.T. Selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir,terimakasih atas bimbingan dan saran-saran untuk penelitian yang saya lakukan.
5. Ibu Miftahul Jannah, S.T., M.T Selaku Kordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Untirta
6. Segenap dosen Fakultas Teknik Mesin dan seluruh staf yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama kuliah.
7. Orang tua penulis yaitu Bapak Upu Syaepullah dan Ibu Neneng Maimanah yang senantiasa memberikan doa serta dukungan terhadap penulis
8. Nurusyifa dan Muhammad Hapizd selaku kakak dan yang selalu mendukung,memberikan doa serta tak lelah menemani setiap langkah selama proses perkuliahan.

9. Frischa Maulida Andriadi selaku wanita yang selalu menemani kehidupan penulis selama proses perkuliahan, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini
10. Marchello Marvel, Dimas Satrio, Rifki Nurhasan, Patrick Allen, Sadam Husein dan Muhammad Fajri selaku teman-teman perantau satu kontrakan yang telah memberi pengalaman hidup baru yang bahu-membahu men-support selama proses perkuliahan
11. Seluruh Teman-teman Teknik mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan semangat dan arahan terutama teman-teman Angkatan 2020.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan semua, terimakasih atas bantuannya sehingga sehingga saya dapat menyelesaikan proposal ini.

Kemudian, saya menyadari bahwa proposal yang saya tulis ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun kami butuhkan demi kesempurnaan proposal ini. Semoga dengan penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan, khususnya mahasiswa S1 Mesin.

Cilegon, 27 Juni 2024

Muhammad Arik Hawari
3331200066

ABSTRAK

STUDI PENCAMPURAN GAS LPG DAN HIDROGEN SEBAGAI BAHAN BAKAR LOW EMISSION VEHICLE

Disusun oleh :

Muhammad Arik Hawari

3331200066

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

Mobil LEV (*Low Emission Vehicle*) adalah salah satu aplikasi utama dari konversi LPG dan hidrogen. Konversi bahan bakar LPG dan hidrogen pada mesin dapat berdampak signifikan pada kinerja mesin dan baterai mobil LEV. Efisiensi konversi energi bahan bakar LPG dan hidrogen, serta efisiensi mesin genset dalam menggunakan hidrogen, akan mempengaruhi seberapa baik energi yang dihasilkan dapat disimpan dan digunakan oleh mobil LEV. Penelitian ini mencakup analisis energi pembakaran, dan efisiensi bahan bakar. Penelitian ini juga melibatkan pengujian pada mesin kendaraan untuk menemukan campuran bahan bakar yang baik guna menunjang efisiensi bahan bakar. Penggunaan campuran hidrogen dan LPG dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon, sehingga meningkatkan kualitas udara dan mengurangi dampak lingkungan. Analisis ini juga mencakup efisiensi konversi energi hidrogen yang dihasilkan dari konversi LPG. Dalam salah satu pengujiannya, selama durasi 60 menit, penelitian ini menghasilkan energi bahan bakar hidrogen sebesar 6,056 MJ dari LPG sebesar 9,2 MJ, sehingga total energi yang dihasilkan adalah 15,246 MJ. Energi yang digunakan oleh genset adalah 1,022 MJ, menghasilkan efisiensi termal sebesar 14,927%.

Kata Kunci : Hidrogen, Low emission vehicle, LPG

***STUDY ON MIXING LPG GAS AND HYDROGEN AS LOW EMISSION
VEHICLE FUEL***

Compiled By :

Muhammad Arik Hawari

3331200066

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

Low emission vehicle (LEV) are one of the main applications of LPG to hydrogen conversion. The conversion of LPG fuel into hydrogen in engines can have a significant impact on the performance of LEV car engines and batteries. The efficiency of energy conversion from LPG to hydrogen, as well as the efficiency of generator engines in using hydrogen, will affect how well the energy produced can be stored and used by LEV cars. The study includes an analysis of combustion characteristics, fuel efficiency, and emissions from various hydrogen and LPG blends. The research also involves testing vehicle engines to find the optimal mix that provides the best balance between performance and emissions. The use of a mixture of hydrogen and LPG can significantly reduce carbon emissions, thereby improving air quality and reducing environmental impact. This analysis also includes the efficiency of hydrogen energy conversion resulting from LPG conversion. In one of the tests, for a duration of 60 minutes, this study produced 6,056 MJ of hydrogen fuel energy from 9.2 MJ of LPG, so that the total energy produced was 15,246 MJ. The energy used by the generator set is 1,022 MJ, resulting in a thermal efficiency of 14,927%.

Keywords: Hydrogen, Low emission vehicle, LPG

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERSYARATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Praktikum	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State of Art</i>	4
2.2 Konversi Bahan Bakar	6
2.3 Mesin Genset.....	7
2.4 Mobil LEV	11
2.5 Daya	12
2.6 Energi Bahan Bakar	13
2.7 Pengaruh Konversi Terhadap Kinerja Mesin	14
BAB III METODOLOGI PRAKTIKUM	
3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.2 Skematik Penelitian.....	18
3.3 Alat dan Bahan yang digunakan.....	19
3.2.1 Alat yang digunakan.....	19
3.2.2 Bahan yang digunakan	22

3.4 Variable Penelitian	23
3.5 Prosedur Penelitian.....	24
3.6 Estimasi Waktu	25

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kinerja Mesin Menggunakan Bahan Bakar Campuran LPG dan Hidrogen	26
4.2 Perhitungan.....	27
4.3 Analisis Efisiensi.....	30
4.4 Analisis Energi dari Bahan Bakar	31
4.5 Analisis Rasio Perbandingan Bahan Bakar Terhadap Nilai Efisiensi	32

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	28
5.2 Saran.....	29

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

1. Perhitungan
2. Dokumentasi

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 <i>Ganchart</i> Penelitian	25
Tabel 4.1 Hasil Pengujian masing-masing selama 60 menit	27
Tabel 4.2 Hasil pengujian variasi laju aliran selama 10 menit	27
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Laju Massa Aliran pengujian selama 60 menit	29
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Massa Laju Aliran pengujian selama 10 menit	29
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Efisiensi selama 60 menit.....	30
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Efisiensi Selama 10 Menit.....	30

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Mesin Pembakaran Dalam	6
Gambar 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Termal.....	6
Gambar 2.3 Fuel Cell	7
Gambar 2.4 Genset Diesel.....	8
Gambar 2.5 Genset Bensin.....	8
Gambar 2.6 Genset Gas.....	9
Gambar 2.7 Mobil LEV	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	18
Gambar 3.2 Skematik Pengujian.....	18
Gambar 3.3 Mesin Genset.....	19
Gambar 3.4 Wattmeter	20
Gambar 3.5 Flow Meter	20
Gambar 3.6 Karburator Reducer	20
Gambar 3.7 Stopwatch.....	21
Gambar 3.8 Pressure Gauge Hidrogen (H ₂).....	21
Gambar 3.9 Mesin Gerinda.....	21
Gambar 3.10 Flashback Arestor <i>Gas</i>	22
Gambar 3.11 Timbangan Digital	22
Gambar 3.12 Gas LPG.....	23
Gambar 3.13 Gas Hidrogen	23
Gambar 4.1 Diagram Efisiensi Terhadap Waktu Pembebanan	30
Gambar 4.2 Diagram Perbandingan Energi Bahan Bakar Terhadap Waktu.....	31
Gambar 4.3 Diagram Ratio Bahan Bakar Terhadap Efisiensi	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi terbarukan dalam transportasi semakin mendapat perhatian karena kekhawatiran terhadap dampak negatif penggunaan bahan bakar fosil terhadap lingkungan dan ketersediaan sumber daya. Salah satu alternatif yang sedang dikembangkan adalah kendaraan listrik berbahan bakar hydrogen dan LPG (Low Emission vehicle / LEV). LEV menggunakan pencampuran bahan bakar untuk menghasilkan listrik menggunakan mesin genset. Penggunaan bahan bakar LPG dan hidrogen merupakan langkah inovatif dalam pengembangan teknologi bahan bakar yang ramah lingkungan. LPG, sebagai bahan bakar fosil yang umum digunakan, memiliki kekurangan dalam hal emisi karbon yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Sebaliknya, hidrogen dianggap sebagai bahan bakar masa depan yang bersih karena tidak menghasilkan emisi karbon saat digunakan. Proses konversi ini dilakukan melalui mesin genset, sebuah perangkat yang umumnya digunakan untuk menghasilkan listrik pada situasi darurat atau di lokasi yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik utama.

Mobil LEV (*Low Emission Vehicle*) merupakan salah satu aplikasi utama dari konversi bahan bakar LPG menjadi hidrogen. LEV menggunakan bahan bakar campuran LPG dan Hidrogen yang digunakan pada mesin genset untuk mengisi baterai. Penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar pada LEV memiliki beberapa keuntungan, antara lain efisiensi energi yang tinggi dan tidak menghasilkan emisi karbon, menjadikannya sebagai alternatif untuk mengurangi dampak lingkungan dari transportasi.

Konversi bahan bakar LPG menjadi hidrogen pada mesin genset dapat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja mesin dan baterai pada mobil LEV. Efisiensi konversi energi dari LPG ke hidrogen, serta efisiensi mesin genset dalam menggunakan hidrogen, akan mempengaruhi seberapa baik energi yang dihasilkan dapat disimpan dan digunakan oleh mobil LEV.

Selain itu, teknologi penyimpanan hidrogen merupakan aspek penting dalam konversi bahan bakar LPG menjadi hidrogen. Teknologi penyimpanan yang efisien dan aman diperlukan untuk mendukung penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan dalam berbagai aplikasi, termasuk pada mesin genset dan mobil LEV.

Pada penelitian sebelumnya menurut tri wardgo pada artikelnya menunjukkan bahwa bahan bakar gas jenis LPG memiliki putaran mesin terhadap perubahan beban generator lambat dengan efisiensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar minyak, yang disimpulkan bahwa LPG dapat dipakai sebagai pengganti bahan bakar minyak pada pengoperasian Genset. Namun, penggunaan LPG dirasa masih dapat digantikan dengan bahan bakar alternatif yang sekarang gencar dikembangkan yaitu bahan bakar hidrogen, yang memiliki emisi karbon yang jauh lebih baik dari pada LPG karena berasal dari air melalui proses eletrolisis.

Penelitian ini mencakup analisis karakteristik pembakaran, efisiensi bahan bakar, dan emisi dari berbagai campuran hidrogen dan LPG. Penelitian ini juga melibatkan pengujian pada mesin kendaraan untuk menentukan campuran optimal yang memberikan keseimbangan terbaik antara performa dan emisi. Penggunaan campuran hidrogen dan LPG dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon, yang berkontribusi pada kualitas udara yang lebih baik dan dampak lingkungan yang lebih rendah. Hal ini meliputi analisis efisiensi konversi energi hidrogen yang dihasilkan dari konversi bahan bakar LPG.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian pencampuran bahan bakaar LPG dan H₂ ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efisiensi pencampuran bahan bakar LPG dan hidrogen pada mesin genset
2. Apa faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi bahan bakar pada mesin genset.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan percobaan yang ingin dicapai pada penelitian pencampuran bahan bakar LPG dan Hidrogen, berikut adalah tujuannya:

1. Menganalisis efisiensi pencampuran bahan bakar LPG dan hidrogen pada mesin genset sebagai bahan bakar *Low Emisien Vehicle*
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi bahan bakar LPG dan hidrogen pada mesin genset sebagai bahan bakar *Low Emisien Vehicle*

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian yang ingin dicapai pada penelitian yaitu pada modul motor bakar, berikut adalah batasan masalah pada penelitian ini:

1. Penelitian ini hanya akan memfokuskan pada efisiensi pencampuran bahan bakar
2. Bahan bakar yang digunakan adalah LPG dengan laju aliran 1,5 L/Menit dan Hidrogen H₂ 0,5 L/Menit
3. Genset yang digunakan pada penelitian ini adalah type 156 f 2,5 HP
4. Pembebanan yang dipakai adalah gerinda dengan spesifikasi 670 watt 220-230 Volt
5. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan durasi pengujian selama 1 Jam setiap pengujian

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian pada penelitian yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bahan bakar LPG dan hidrogen.
2. Memberikan wawasan tentang potensi penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar untuk *combution engine*
3. Membantu dalam pengembangan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan dalam industri transportasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 State of Art

Penelitian berfungsi untuk analisa dan memperkaya pembahasan penelitian, serta membedakan dengan penelitian yang sedang dilakukan. dalam penelitian ini disertakan beberapa jurnal penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan judul pengelolaan limbah rumah tangga menjadi energi terbarukan. Jurnal tersebut antara lain:

v akan menjadi acuan dalam penelitian kali ini. Berikut adalah tabel *state of art* yang digunakan sebagai acuan.

Tabel 2.1 State Of Art

No.	Deskripsi Jurnal (Judul, Peneliti, Tahun)	Objek Penelitian	Hasil dan Pembahasan
1	Pembuatan Cetakan <i>Injection Molding</i> Untuk Membuat Bantalan Ketiak Tongkat Kruk Dari Material <i>Polypropylene</i> (I. A. Putra et al., 2023)	Memanfaatkan limbah plastik jenis <i>Polypropylene</i> (PP) untuk bahan dasar pembuatan produk bantalan ketiak dengan cetakan <i>injection molding</i> .	Hasil penelitian : Pada penelitian kali ini menggunakan limbah plastik jenis PP, dengan variasi temperature lelehnya 200°C dengan tekanan injeksi nya 100 bar. Untuk hasil pengujian densitas diperoleh rata-rata adalah 0,89 gr/cm ³ dan untuk pengujian kekerasan hasil rata-rata nya ialah 75,6 dan material cetakan yang digunakan adalah alumunium 6061

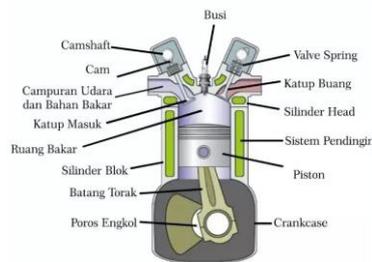
2	<p>Perancangan Alat Cetak <i>Interlocking Brick</i> dengan</p>	<p>Memanfaatkan limbah plastik jenis <i>High</i></p>	<p>Hasil Penelitian: Pada penelitian ini limbah plastik yang</p>
	<p>Memanfaatkan Sampah Plastik HDPE sebagai Material Bata (Muharam et al., 2021)</p>	<p><i>Density Polyethylene</i> (HDPE) untuk bahan dasar pembuatan produk material bata</p>	<p>dilelehkan berjenis HDPE, yang mana temperature leleh yang digunakan adalah 220°C, untuk pengujian mekanisnya menggunakan pengujian uji tarik dan diperoleh hasil tegangan tariknya 8,86 Mpa</p>
3	<p>Pembuatan Cetakan Kotak Sabun Pada Mesin <i>Injection Molding</i> Plastik (Rakhmad et al., 2018)</p>	<p>Memanfaatkan limbah plastik jenis PP menjadi produk kotak sabun</p>	<p>Hasil Penelitian : Pada penelitian ini menggunakan jenis limbah plastik PP yang mana jenis ini sangat banyak ditemukan disekitar seperti botol gelas. Pada penelitian ini menggunakan temperature leleh plastiknya 250°C, dengan menggunakan material cetakannya adalah Alumunium 7075. Hasil dari penelitian ini isi untuk kekuatan tariknya 45 Mpa</p>

2.2 Konversi Bahan Bakar

Konversi bahan bakar adalah proses mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi yang dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan atau menghasilkan daya. Proses ini umumnya terjadi dalam mesin pembakaran, seperti mesin mobil, pesawat, atau pembangkit listrik. Konversi bahan bakar ini melibatkan serangkaian reaksi kimia yang menghasilkan panas atau energi panas, yang kemudian diubah menjadi energi mekanik atau listrik. Sebagai contoh konversi bahan bakar yang umum adalah sebagai berikut:

1. Mesin pembakaran dalam (internal combustion engine)

Bahan bakar seperti bensin atau diesel dibakar di dalam ruang bakar mesin, menghasilkan energi panas yang menggerakkan piston, yang kemudian diubah menjadi energi mekanik untuk menggerakkan kendaraan.



Gambar 2.1 Mesin Pembakaran Dalam

(Sumber : Giy.id)

2. Pembangkit listrik tenaga termal

Bahan bakar seperti batu bara, minyak, atau gas alam dibakar untuk memanaskan air dan menghasilkan uap, yang kemudian digunakan untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator listrik.

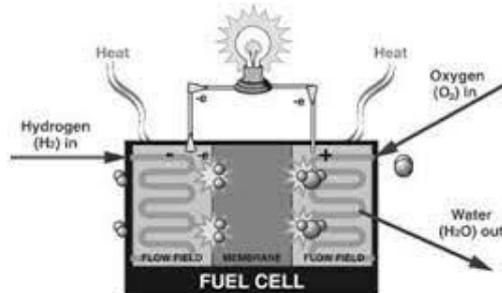


Gambar 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Termal

(Sumber : Anak Teknik.co.id)

3. Sel bahan bakar (fuel cells)

Reaksi kimia langsung antara bahan bakar seperti hidrogen dan oksigen di dalam sel bahan bakar menghasilkan energi listrik langsung, tanpa pembakaran.



Gambar 2.3 Fuel Cell

(Sumber : Material science.com)

Konversi bahan bakar ini penting dalam berbagai industri karena merupakan cara utama untuk mengubah sumber daya energi yang tersedia menjadi energi yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti transportasi, pembangkitan listrik, dan banyak lagi. Selain itu terdapat contoh konversi bahan bakar yang lebih spesifik antara lain:

1. Konversi bahan bakar fosil (seperti bensin, diesel, atau batu bara) menjadi energi listrik di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) atau pembangkit listrik tenaga gas (PLTG).
2. Konversi bahan bakar cair (seperti bensin atau diesel) menjadi energi mekanik dalam mesin pembakaran dalam kendaraan bermotor.
3. Konversi bahan bakar biomassa (seperti kayu, limbah pertanian, atau limbah organik lainnya) menjadi energi panas atau listrik melalui proses pembakaran atau fermentasi.

Tujuan utama dari konversi bahan bakar adalah untuk menghasilkan energi yang dapat digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan, seperti transportasi, penerangan, dan penggunaan industri, sambil mempertimbangkan efisiensi, kebersihan lingkungan, dan keberlanjutan.

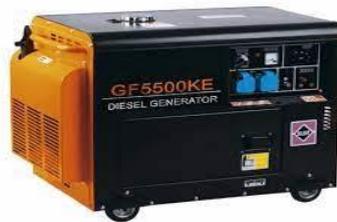
2.3 Mesin Genset

Mesin genset adalah perangkat yang digunakan untuk menghasilkan listrik. Ini biasanya terdiri dari dua komponen utama: mesin pembakaran dalam yang berfungsi sebagai pembangkit tenaga, dan generator listrik yang mengubah energi mekanik dari mesin menjadi energi listrik. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut tentang jenis-jenis dan perbedaan dari mesin genset adapun jenis-jenis mesin genset berdasarkan klasifikasinya diantaranya sebagai berikut:

1. Berdasarkan jenis bahan bakar umumnya genset diklasifikasikan atau dibedakan berdasarkan tiga jenis diantaranya:

- Genset Diesel

Mesin diesel umumnya lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar dan memiliki kekuatan torsi yang tinggi, sehingga cocok untuk penggunaan yang membutuhkan daya terus-menerus.



Gambar 2.4 Genset Diesel

(Sumber : Dunia Teknik.co.id)

- Genset Bensin

Lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan daya yang lebih kecil dan digunakan dalam kondisi di mana aksesibilitas bahan bakar diesel mungkin terbatas.



Gambar 2.5 Genset Bensin

(Sumber : Dunia Teknik.co.id)

- Genset Gas

Biasanya menggunakan gas alam, gas propana, atau gas lainnya sebagai bahan bakar. Mereka sering digunakan di tempat-tempat di mana gas tersedia secara berkelanjutan.



Gambar 2.6 Genset Gas

(Sumber : Dunia Teknik.co.id)

2. Selain berdasarkan bahan bakarnya genset diklasifikasikan berdasarkan kebutuhan dayanya, diantaranya sebagai berikut:

- Genset Standby

Dirancang untuk digunakan sebagai cadangan saat pasokan listrik utama gagal.

- Genset Prime

Dirancang untuk memberikan daya secara terus-menerus dalam kondisi operasional normal.

- Genset Portable

Biasanya digunakan untuk aplikasi sementara atau di lokasi yang sulit dijangkau.

3. Adapun genset yang diklasifikasikan berdasarkan sistem pendinginnya, diantaranya sebagai berikut:

- Genset Pendingin Udara

Menggunakan udara untuk mendinginkan mesin.

- Genset Pendingin Cairan

Menggunakan cairan pendingin seperti air atau glikol untuk mendinginkan mesin.

Setelah mengetahui jenis genset berdasarkan klasifikasinya, tentunya setiap genset tersebut memiliki perbedaan. Adapun perbedaan genset diantaranya sebagai berikut:

1. Jenis Bahan Bakar
 - a. Genset diesel menggunakan bahan bakar diesel, sementara genset bensin menggunakan bahan bakar bensin.
 - b. Genset gas menggunakan gas alam, propana, atau jenis gas lainnya sebagai bahan bakar.

2. Efisiensi dan Kinerja
 - a. Genset diesel biasanya lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar dan memiliki torsi yang tinggi.
 - b. Genset bensin mungkin memiliki tenaga lebih kecil dan kurang efisien dalam penggunaan bahan bakar dibandingkan dengan genset diesel.
 - c. Genset gas dapat menjadi pilihan yang ramah lingkungan dan ekonomis tergantung pada ketersediaan bahan bakar dan kebutuhan spesifik.

3. Kegunaan dan Aplikasi
 - a. Genset diesel sering digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan daya terus-menerus seperti pembangkit listrik utama di industri atau bangunan komersial.
 - b. Genset bensin lebih umum digunakan dalam aplikasi kecil atau portabel seperti generator darurat atau generator portabel untuk kegiatan outdoor.
 - c. Genset gas sering digunakan di tempat-tempat di mana gas alam atau gas lainnya tersedia secara berkelanjutan, seperti fasilitas industri atau pusat data.

Dengan memilih jenis mesin genset yang sesuai dengan kebutuhan

spesifik, pengguna dapat memastikan bahwa mereka mendapatkan solusi pembangkit listrik yang efisien, handal, dan sesuai dengan lingkungan kerja mereka.

2.4 Mobil LEV

Mobil LEV adalah singkatan dari Low emission vehicle, yang dikenal juga sebagai mobil sel bahan bakar hidrogen. Mobil ini menggunakan teknologi sel bahan bakar hidrogen untuk menghasilkan listrik yang digunakan untuk menggerakkan motor kendaraan. Berikut adalah beberapa karakteristik dan informasi tentang mobil LEV:

1. Teknologi Sel Bahan Bakar Hidrogen

Mobil LEV menggunakan sebuah perangkat yang disebut sebagai sel bahan bakar hidrogen untuk menghasilkan listrik. Sel bahan bakar ini mengonversi hidrogen dan oksigen dari udara menjadi air, menghasilkan listrik sebagai hasil sampingnya.

2. Emisi Nol

Salah satu keunggulan utama mobil LEV adalah bahwa mereka tidak menghasilkan emisi gas buang yang berbahaya. Satu-satunya produk sampingan dari proses sel bahan bakar adalah air murni, yang berarti mobil ini ramah lingkungan.

3. Kapasitas Pengisian Cepat

Mobil LEV biasanya memiliki waktu pengisian yang cepat jika dibandingkan dengan kendaraan listrik baterai. Hal ini karena hidrogen dapat diisi kembali dalam waktu yang relatif singkat, serupa dengan pengisian bahan bakar konvensional.

4. Rentang Jarak Jauh

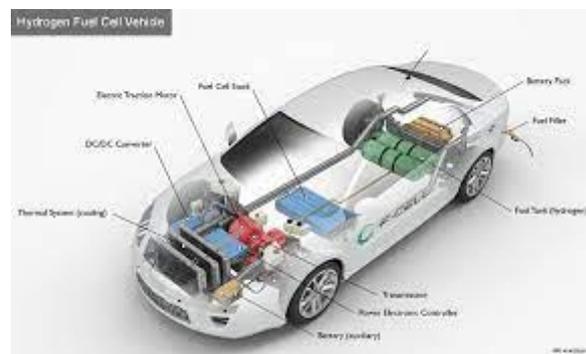
Mobil LEV memiliki rentang jarak yang serupa dengan kendaraan konvensional. Mereka dapat melakukan perjalanan jarak jauh tanpa perlu khawatir tentang keterbatasan daya baterai seperti pada kendaraan listrik baterai.

5. Infrastruktur Pengisian

Meskipun masih terbatas, infrastruktur pengisian untuk mobil LEV terus

berkembang. Stasiun pengisian hidrogen sedang dibangun di berbagai lokasi di seluruh dunia, membuat penggunaan mobil ini semakin mudah.

Meskipun mobil LEV memiliki banyak keunggulan, ada beberapa tantangan yang masih perlu diatasi, seperti ketersediaan infrastruktur pengisian yang lebih luas, biaya produksi yang masih tinggi, dan produksi hidrogen yang ramah lingkungan. Namun, potensi mobil LEV sebagai solusi transportasi yang bersih dan berkelanjutan masih menarik minat banyak pihak dalam industri otomotif dan energi.



Gambar 2.7 Mobil LEV
(Sumber : Otodriver.com)

2.5 Daya

Daya adalah hasil dari perkalian antara torsi dan kecepatan putaran mesin, dan daya puncak biasanya terjadi pada putaran mesin tertentu yang lebih tinggi daripada torsi maksimum atau dengan kata lain torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Daya pada motor bakar mengacu pada kemampuan motor untuk menghasilkan tenaga atau daya mekanis. Daya ini diukur dalam satuan watt (W) atau kilowatt (kW). Daya motor genset dapat dinyatakan dalam dua bentuk, yaitu daya input dan daya output. Daya input merupakan daya yang diberikan ke motor bakar melalui bahan bakar yang terbakar. Ini sering disebut sebagai daya terukur (Harahap, 2019).

Daya input dapat diukur menggunakan alat seperti dinamometer mesin atau dinamometer kendaraan. Daya output adalah daya yang benar-benar digunakan untuk melakukan kerja mekanis oleh motor. Ini mencerminkan

efisiensi motor dan berbeda dari daya input karena beberapa daya input digunakan untuk mengatasi kehilangan gesekan dan kehilangan panas dalam motor. Daya output dapat diukur dengan menghubungkan motor ke beban kerja tertentu, seperti penggerak mesin, dan mengukur daya yang dihasilkan. Perbedaan antara daya input dan daya output dikenal sebagai kerugian daya atau kerugian mekanis. Ini disebabkan oleh faktor seperti gesekan internal, pendinginan, atau komponen yang tidak efisien dalam motor.

2.6 Energi Bahan Bakar

Energi bahan bakar dalam satuan megajoule (MJ) adalah ukuran energi yang terkandung dalam bahan bakar yang digunakan. Megajoule adalah satuan energi yang setara dengan satu juta joule ($1 \text{ MJ} = 1,000,000 \text{ joule}$). Satuan ini sering digunakan untuk mengukur energi dalam konteks bahan bakar, terutama di bidang teknik dan energi. Berikut adalah beberapa penjelasan terkait energi bahan bakar dalam satuan MJ:

1. Pengukuran Energi

Energi bahan bakar biasanya diukur dalam MJ untuk memberikan gambaran seberapa banyak energi yang dapat dihasilkan dari pembakaran bahan bakar tersebut. Misalnya, jika suatu bahan bakar memiliki nilai energi sebesar 40 MJ per kilogram, berarti setiap kilogram bahan bakar tersebut dapat menghasilkan 40 megajoule energi saat dibakar.

2. Perbandingan Antar Bahan Bakar

Satuan MJ memungkinkan perbandingan yang mudah antar berbagai jenis bahan bakar. Misalnya, bensin, diesel, gas alam, dan batubara dapat dibandingkan berdasarkan energi yang dihasilkan per unit berat atau volume. Ini membantu dalam menentukan efisiensi dan kegunaan masing-masing jenis bahan bakar dalam berbagai aplikasi.

3. Efisiensi Energi

Dalam konteks efisiensi energi, jumlah MJ yang dihasilkan oleh bahan bakar dibandingkan dengan jumlah MJ yang dikonsumsi dapat menunjukkan seberapa efisien suatu sistem atau proses energi. Efisiensi yang tinggi berarti

lebih banyak energi yang dihasilkan dibandingkan dengan energi yang dikonsumsi, yang penting untuk mengurangi biaya dan dampak lingkungan

Secara keseluruhan, energi bahan bakar dalam satuan MJ adalah cara standar untuk mengukur dan membandingkan jumlah energi yang tersedia dari berbagai bahan bakar, yang penting untuk aplikasi teknik, pengelolaan energi, dan analisis lingkungan.

2.7 Pengaruh Konversi Terhadap Kinerja Mesin

Pengaruh konversi terhadap kinerja mesin dan baterai dapat sangat bervariasi tergantung pada konteksnya, seperti jenis konversi yang dilakukan dan jenis mesin atau baterai yang digunakan. Pengaruh konversi terhadap kinerja mesin dan baterai berkaitan dengan efisiensi dan efektivitas transformasi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Ini relevan terutama dalam konteks mesin pembangkit listrik, mesin kendaraan, dan teknologi penyimpanan energi seperti baterai. Konversi energi sangat berpengaruh terhadap kinerja mesin dan juga kinerja baterai. Berdasarkan kinerja mesin, konversi energi dalam mesin berhubungan dengan kemampuan mesin untuk mengubah energi yang tersimpan dalam bahan bakar menjadi tenaga yang dapat digunakan untuk melakukan kerja.

Efisiensi konversi energi sangat penting dalam menentukan kinerja mesin. Adapun Faktor-faktor yang mempengaruhi konversi energi dalam mesin meliputi desain mesin, jenis bahan bakar yang digunakan, proses pembakaran, dan efisiensi termal mesin. Sebagai contoh, dalam mesin pembakaran dalam, konversi energi dari bahan bakar menjadi energi mekanik sering kali tidak sempurna karena sebagian energi hilang dalam bentuk panas yang tidak berguna. Meningkatkan efisiensi konversi energi dapat meningkatkan kinerja mesin dengan mengoptimalkan proses pembakaran dan mengurangi kerugian energi.

Selain dari pada kinerja mesin tentunya konversi juga mempengaruhi kinerja baterai yang mana konversi energi dalam baterai terutama terkait dengan kemampuan baterai untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia dan mengeluarkannya kembali saat diperlukan. Efisiensi konversi energi

dalam baterai dapat mempengaruhi daya tahan, keandalan, dan masa pakai baterai. Efisiensi yang tinggi berarti baterai dapat menyimpan dan melepaskan energi dengan sedikit kerugian, yang berarti dapat memberikan kinerja yang lebih baik. Beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja baterai meliputi jenis kimia baterai, arus pengisian dan pengosongan, suhu operasional, dan umur siklus. Perkembangan teknologi baterai terus berfokus pada meningkatkan efisiensi konversi energi, mengurangi waktu pengisian, meningkatkan kapasitas penyimpanan, dan memperpanjang umur baterai.

Secara keseluruhan, peningkatan efisiensi konversi energi dalam mesin dan baterai merupakan faktor kunci dalam meningkatkan kinerja sistem pembangkit listrik, kendaraan, dan teknologi penyimpanan energi. Ini menghasilkan penggunaan energi yang lebih efisien, penurunan emisi polutan, dan pengurangan ketergantungan pada sumber energi konvensional. Berikut ini adalah beberapa penjelasan umum mengenai pengaruh konversi terhadap kinerja mesin dan baterai:

1. Pengaruh Konversi Terhadap Kinerja Mesin:

a. Efisiensi

Proses konversi energi dalam mesin seringkali tidak sempurna, sehingga sebagian energi bisa hilang dalam bentuk panas atau gesekan. Efisiensi mesin mengacu pada seberapa efisien mesin tersebut dalam mengubah energi masukan menjadi energi keluaran yang berguna. Perubahan dalam metode konversi bisa memengaruhi efisiensi mesin.

b. Daya dan Torsi

Berbagai jenis konversi energi dapat mempengaruhi daya dan torsi yang dihasilkan oleh mesin. Misalnya, perubahan pada sistem pembakaran atau sistem pembangkit daya dalam mesin bisa mengubah karakteristik daya dan torsi mesin.

c. Emisi

Konversi energi dalam mesin dapat mempengaruhi jumlah dan jenis emisi yang dihasilkan. Perubahan dalam teknologi konversi bisa membantu mengurangi emisi polutan seperti karbon dioksida (CO₂),

2. Pengaruh Konversi Terhadap Kinerja Baterai:

a. Kapasitas

Konversi energi dalam baterai, terutama dalam proses pengisian dan pengosongan, bisa memengaruhi kapasitas baterai. Proses konversi yang tidak efisien atau degradasi sel baterai dapat mengurangi kapasitas penyimpanan energi.

b. Waktu Pengisian dan Pengosongan

Efisiensi konversi energi juga mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk mengisi dan mengosongkan baterai. Konversi energi yang lebih efisien dapat mempercepat proses pengisian dan pengosongan.

c. Umur Pakai

Proses konversi energi dalam baterai dapat memengaruhi umur pakai baterai. Konversi yang tidak efisien atau proses yang mempengaruhi kemampuan baterai untuk mempertahankan kapasitasnya dari waktu ke waktu dapat mempercepat degradasi baterai.

d. Keselamatan

Konversi energi dalam baterai juga dapat mempengaruhi keamanan penggunaan baterai. Misalnya, konversi energi yang tidak efisien atau menghasilkan panas berlebihan dapat meningkatkan risiko kebakaran atau ledakan.

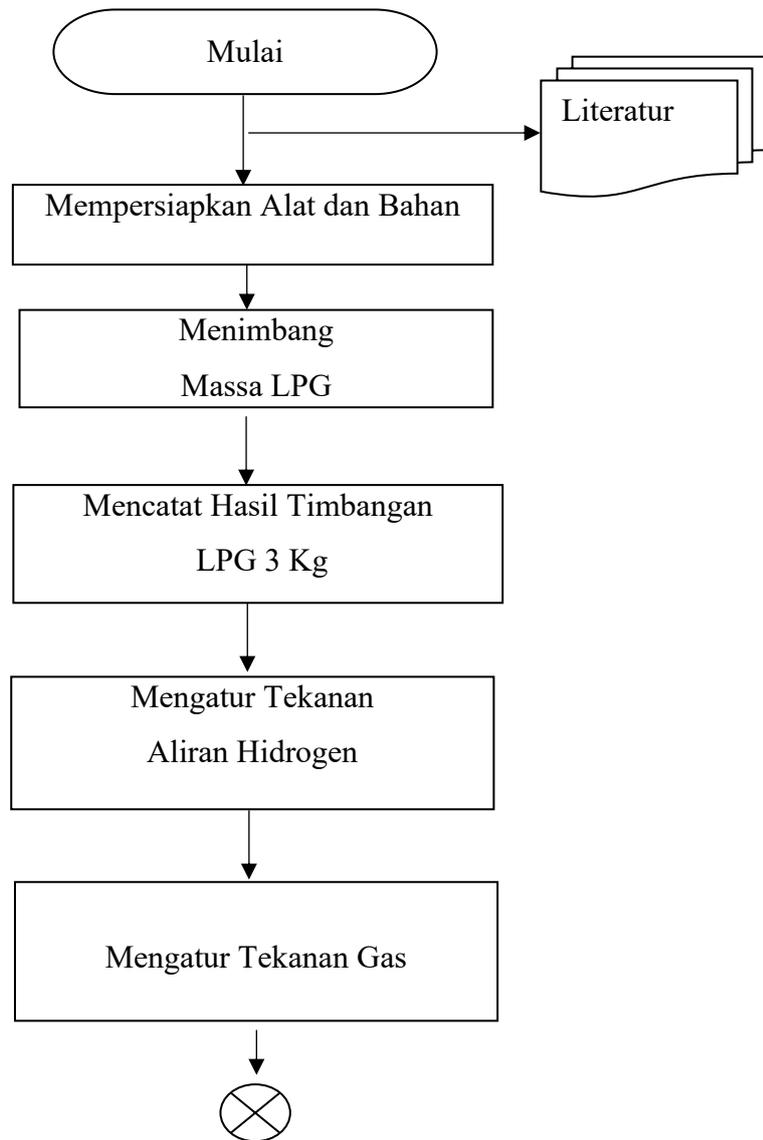
Penting untuk memperhatikan bahwa setiap jenis konversi energi memiliki karakteristiknya sendiri dan dapat memengaruhi kinerja mesin dan baterai dengan cara yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan teknologi konversi yang lebih efisien dan ramah lingkungan terus dilakukan untuk meningkatkan kinerja mesin dan baterai dalam berbagai aplikasi.

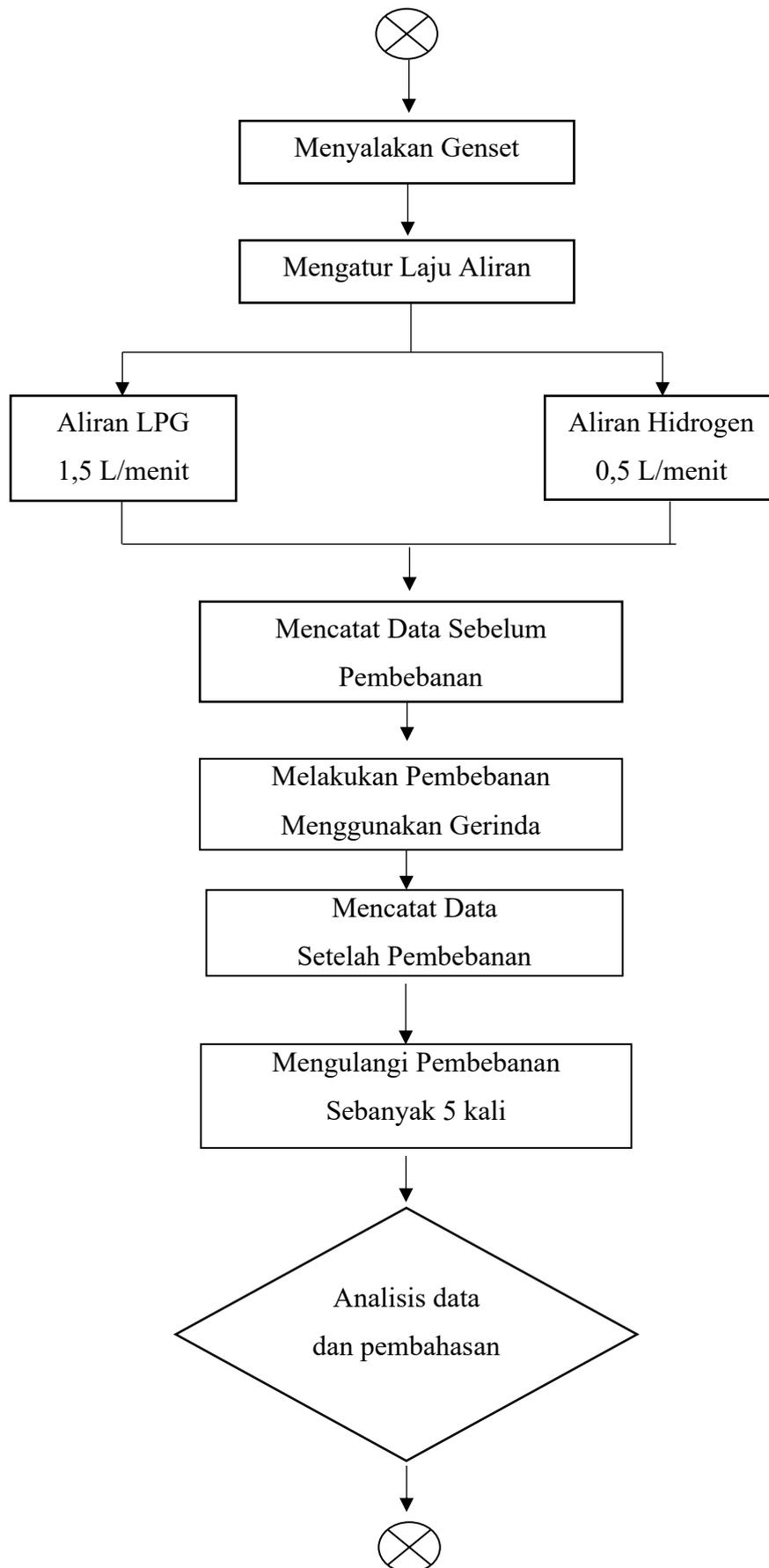
BAB III

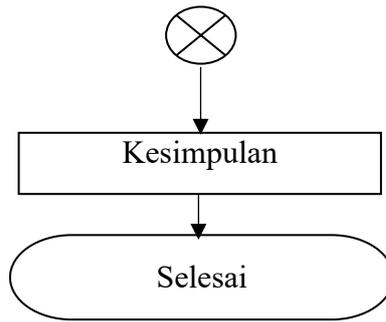
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dari metodologi penelitian yang dapat digunakan pada penelitian ini. Berikut diagram alir yang digunakan.





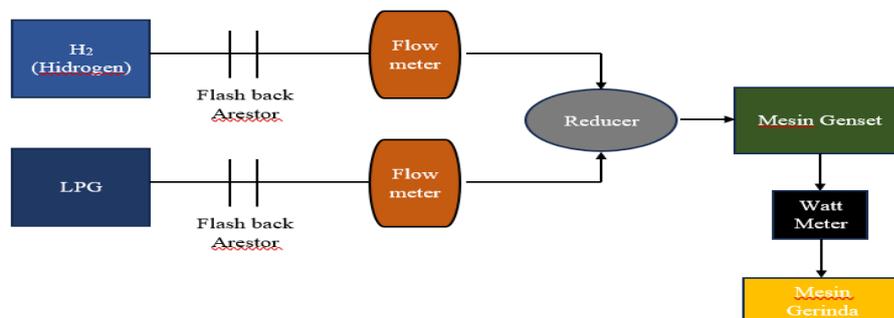


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode eksperimental. Dimana pada pengujian pencampuran gas LPG dan Hidrogen sebagai bahan bakar bertujuan untuk mengetahui nilai dari massa gas, laju konsumsi aliran, energi bahan bakar dan efisiensi bahan bakar. Penelitian menggunakan alat-alat untuk dapat mengetahui parameter penilaian diantaranya flow meter untuk membaca laju aliran, Watt meter untuk membaca tegangan, arus dan daya dari mesin genset, gerinda sebagai pembebanan pada mesin genset, kemudian ada regulator, pressure gauge untuk mengukur tekanan pada tabung bahan bakar dan ada flash back erstor untuk pengaman jika ada ledakan pada jalur bahan bakar. Proses pengujian dilakukan dengan cara menyalakan mesin genset dengan bahan bakar campuran gas LPG dan Hidrogen dengan ketentuan laju aliran 1,5 L/Min LPG dan 0,5 L/min Hidrogen pada variasi 1 selama 60 menit dengan 5 kali pengujian, kemudian untuk laju aliran 1,5 L/min LPG dan Hidrogen 0,2 dan 0,3 L/min untuk pengujian 10 menit sebagai parameter terkecil dari pengujian.

3.2 Skematik Penelitian

Terdapat skematik pengujian yang dapat digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 3.2 Skematik Pengujian

Pertama kedua bahan bakar (Hidrogen dan LPG) keluar dari penyimpanan dan melewati flash back arestor untuk mencegah loncatan balik api yang berpotensi berbahaya. Kemudian, aliran bahan bakar diukur menggunakan flow meter untuk mengontrol laju masuknya ke dalam sistem. Selanjutnya, tekanan bahan bakar dikurangi menggunakan reducer sehingga sesuai dengan persyaratan oprasional mesin genset. Bahan bakar yang telah disesuaikan tekanannya kemudian digunakan dalam mesin genset untuk menghasilkan Listrik, yang diukur menggunakan watt meter untuk memantau daya yang dihasilkan. Listrik ini akhirnya digunakan untuk mengoprasikan mesin gerinda, yang memungkinkan pengerjaan material dengan efisiensi dan hasil yang diinginkan.

3.3 Alat dan Bahan yang digunakan

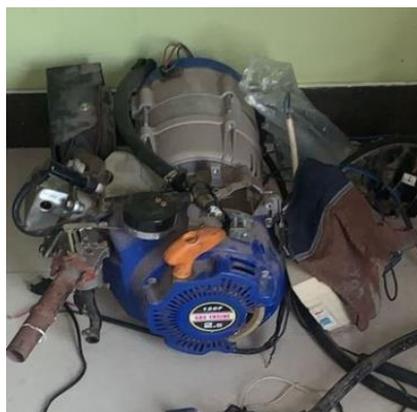
Alat dan bahan sangat lah penting digunakan untuk memudahkan pengambilan data pada penelitian, adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

3.2.1 Alat yang digunakan

Adapun alat yang diperlukan guna mendukung keberlangsungan penelitian ini, diantaranya:

1. Mesin Genset

Mesin genset digunakan untuk menghasilkan listrik.



Gambar 3.3 Mesin Genset

2. Wattmeter

Wattmeter digunakan untuk mengukur konsumsi daya listrik dalam satuan watt atau kilowatt.



Gambar 3.4 Wattmeter

3. Flow Meter

Flow meter digunakan untuk mengukur laju aliran.



Gambar 3.5 Flow Meter

4. Karburator Reducer

Karburator reducer digunakan untuk mengurangi tekanan bahan bakar sebelum masuk ke karburator.



Gambar 3.6 Karburator Reducer

5. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk menghitung waktu yang ditetapkan.



Gambar 3.7 *Stopwatch*

6. *Pressure Gauge* Hidrogen (H_2)

Pressure gauge Hidrogen digunakan untuk mengukur tekanan gas hidrogen.



Gambar 3.8 *Pressure Gauge* Hidrogen (H_2)

7. Mesin Gerinda

Mesin Gerinda digunakan untuk memotong, menghaluskan, ataupun mengasah



Gambar 3.9 Mesin Gerinda

8. Flashback Arestor

Flashback arestor digunakan untuk mencegah terjadinya loncatan balik api atau ledakan kedalam saluran bahan bakar gas ataupun oksigen.



Gambar 3.10 Flashback Arestor Gas

9. Timbangan Digital

Digunakan untuk mengukur berat pada benda.



Gambar 3.11 Timbangan Digital

3.2.2 Bahan yang digunakan

Adapun Bahan yang diperlukan guna mendukung keberlangsungan penelitian ini, diantaranya:

1. Gas LPG

Gas LPG digunakan sebagai penyimpanan bahan bakar berisi gas.



Gambar 3.12 Gas LPG

2. Gas Hidrogen

Gas Hidrogen digunakan sebagai bahan bakar berisi hidrogen.



Gambar 3.13 Gas Hidrogen

3.4 Variable Penelitian

Adapun variable penelitian yang terdapat pada penelitian ini meliputi beberapa variabel penelitian, diantaranya sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini ialah pencampuran bahan bakar LPG dan bahan bakar hidrogen pada mesin genset

2. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini ialah

- a. kinerja genset terhadap pengisian baterai mobil LEV
- b. Efisiensi Thermal pada bahan bakar LPG dan Hidrogen
- c. Energi bahan bakar LPG dan Hidrogen

3. Variabel Kontrol

Terdapat beberapa variabel kontrol yang akan dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut :

- a) Laju Aliran LPG dan Hidrogen (H_2)
- b) Tekanan Hidrogen dan LPG
- c) Waktu pada setiap pembebanan

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dapat dilakukan untuk proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Pada tahap studi literatur ini digunakan untuk mempelajari referensi

dalam penelitian yang akan dilakukan. Dalam metode studi literatur ini juga untuk mengetahui gambaran awal terkait penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur ini diambil dari beberapa media, yakni buku, jurnal dan penelitian sebelumnya.

2. Pengadaan Genset Sebagai Alat Uji

Genset yang akan dijadikan obyek penelitian ini sebanyak 1 (satu) unit, digerakan oleh motor berbahan bakar LPG. Listrik yang dihasilkan adalah jenis AC

3. Pengadaan Instrumen Alat ukur

Pengadaan Alat ukur ini sebagai sarana utama untuk pengambilan data pengujian.

4. Rancang Bangun Pemodelan Konversi Bahan Bakar

Melakukan membuat alat untuk mengalirkan hidrogen agar dapat menggantikan LPG sebagai bahan bakar sebelumnya. Dengan memfabrikasi karburator yang semula digunakan dengan bahan bakar LPG menjadi bahan bakar hidrogen.

5. Proses pengujian efisiensi bahan bakar LPG dengan bahan bakar hidrogen

Pengujian perbandingan efisiensi bahan bakar ini dapat dilakukan dengan menghitung nilai SFC berdasarkan waktu pengurangan bahan bakar per menit selama 10 menit.

6. Melakukan pengujian dengan mengganti besaran waktu konsumsi bahan bakar pada mesin genset saat mesin genset melakukan pengisian terhadap baterai pada bahan bakar LPG dan hidrogen

7. Analisa data dan pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisa data, yakni analisa terhadap data pengujian yang diperoleh untuk mengetahui nilai yang didapat pada saat melakukan penelitian.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kinerja Mesin Menggunakan Bahan Bakar Campuran LPG dan Hidrogen

LPG merupakan campuran hidrokarbon ringan seperti propana dan butana, memiliki kepadatan energi tinggi sekitar 46 MJ/kg dan mudah disimpan dalam bentuk cair pada tekanan 5-10 bar, menjadikannya sangat efisien dan serbaguna untuk berbagai aplikasi. Hidrogen adalah unsur kimia paling ringan berwujud gas tak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Meskipun memiliki kepadatan energi tinggi, sekitar 120 MJ/kg.

Mesin hidrogen juga cenderung lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi yang merugikan seperti CO₂, CO, atau HC. Dalam hal kinerja, mesin yang menggunakan hidrogen memiliki potensi untuk memberikan efisiensi yang lebih tinggi dan emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan mesin yang menggunakan LPG atau bahan bakar fosil lainnya. Kinerja mesin genset menggunakan bahan bakar LPG dan hidrogen dapat diukur melalui beberapa parameter utama. Pertama, putaran mesin mengindikasikan kecepatan rotasi mesin, yang dapat memengaruhi produksi daya. Voltase dan frekuensi mengacu pada tegangan listrik dan frekuensi output mesin genset, yang harus stabil untuk memastikan penggunaan listrik yang aman. Daya dan arus merupakan ukuran dari energi listrik yang dihasilkan dan digunakan oleh mesin. Hambatan mencerminkan kemampuan mesin untuk mengatasi beban yang diberikan.

Analisis kinerja akan membandingkan penggunaan campuran bahan bakar LPG dan hidrogen. Pada penelitian ini dilakukan analisis kinerja mesin genset dengan pengujian sebanyak 5 kali yang berdurasi 60 menit setiap pengujian dengan ketentuan perbandingan laju aliran bahan bakar LPG 1,5 liter per menit dan hidrogen 0,5 liter per menit. Kinerja mesin genset akan dievaluasi berdasarkan beberapa parameter seperti konsumsi bahan bakar LPG dan Hidrogen, tegangan, arus listrik yang dihasilkan, energi bahan bakar, energi total bahan bakar, energi yang dikeluarkan dan nilai efisiensi thermal.

4.2 Perhitungan Hasil Penelitian

Setelah dilakukanya pengujian tentunya data tersebut diolah untuk mendapatkan atau untuk mengetahui nilai dari setiap parameter yang dicari, maka dari itu perhitungan perlu dilakukan. Pengujian dilakukan terhadap mesin genset yang diberikan bahan bakar LPG dan Hidrogen dengan laju aliran 1,5 L/Menit untuk LPG dan 0,5 L/Menit untuk hidrogen. Setelah itu barulah didapat hasil pengujian seperti pada tebl berikut:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian masing-masing selama 60 menit

No	M (kg)		P-hyd (Psi)		V (Volt)		I (A)
	M0	M1	P0	P1	V0	V1	
1	6,6	6,4	1800	1500	231	229	1,24
2	6,4	6,2	1500	1200	231	229	1,24
3	6,2	5,9	1200	900	232	230	1,25
4	5,9	5,7	900	700	231	228	1,23
5	5,7	5,4	700	400	232	230	1,24

Dari data pengujian diatas dilakukan pengambilan data kembali untuk menemukan variasi pada setiap laju aliran, data variasi dilakukan sebanyak 2 kali dalam waktu 10 menit dengan ketentuan 1,5 L/menit untuk LPG dan Hidrogen 0,2 dan 0,3 L/menit. Adapun data yang telah dilakukan sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil pengujian variasi laju aliran selama 10 menit

No	Laju Aliran (L/Menit)		M (kg)		P-hyd (Psi)		V (Volt)		I (A)
	LPG	H ₂	M0	M1	P0	P1	V0	V1	
1	1,5	0,2	7,27	7,22	130	100	231	229	1,24
2	1,5	0,3	7,22	7,18	100	60	230	228	1,23

Dari perhitungan diatas, adapun beberapa perhitungan yang dilakukan diantaranya.

- Perhitungan massa hydrogen

Rumus :

$$P V = n R T$$

Keterangann

P = Tekanan

$$V = 1 \text{ m}^3$$

m = massa

$$R = \frac{8,314 \text{ J}}{2,016 \text{ g.K}} = 4,124 \text{ J/g.K}$$

T = Suhu Gas 25° C (298K)

- Perhitungan n jumlah mol gas

$$n = \frac{P.V}{R.T} = g$$

- perhitungan massa H2

Massa awal hydrogen dalam tabung.

$$P = 1800 \text{ Psi} = 12,4 \text{ MPa}$$

$$m_o = \frac{12,4 \text{ MPa} \times 1 \text{ m}^3}{4,124 \frac{\text{J}}{\text{g.K}} \times 298 \text{ K}} = \frac{12400 \text{ kJ}}{1228,952 \text{ J/g}} = 10,098 \text{ g}$$

Massa akhir hydrogen dalam tabung

$$P = 1500 \text{ Psi} = 10,34 \text{ MPa}$$

$$m_1 = \frac{10,34 \text{ MPa} \times 1 \text{ m}^3}{4,124 \frac{\text{J}}{\text{g.K}} \times 298 \text{ K}} = \frac{10340 \text{ kJ}}{1228,952 \text{ J/g}} = 8,415 \text{ g}$$

Jumlah massa hydrogen yang dikonsumsi selama 60 menit adalah

$$m = 10,089 \text{ g} - 8,414 \text{ g} = 1,683 \text{ g}$$

Setelah mencari nilai massa hidrogen yang dikonsumsi selama 60 menit kemudian dilakukan proses perhitungan laju konsumsi hidrogen dan LPG dengan rumus dan contoh sebagai berikut:

$$m_{hyd} = \frac{1,683 \text{ g}}{60 \times 60 \text{ s}} = 0,468 \text{ mg/s}$$

Laju massa LPG :

$$m_{lpg} = \frac{6,6 \text{ kg} - 6,4 \text{ kg}}{60 \times 60 \text{ s}} = 0,055 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 56 \text{ g/s}$$

Tujuan dilakukanya perhitungan nilai laju konsumsi ini adalah untuk mencari nilai energi dari setiap gas, dimana hasil dari nilai energi tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai efisiensi thermal dari setiap bahan bakar.

Berikut merupakan data hasil perhitungan laju konsumsi gas LPG dan Hidrogen dengan variasi 1 dimana nilai laju aliran 1,5 L/min untuk LPG dan 0,5 L/min untuk hidrogen selama 60 menit.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Laju Massa Aliran pengujian selama 60 menit

No	LPG (g/s)	Hyd (mg/s)	V (Volt)	I (Amp)	P (Watt)
1	56	0,468	229	1,24	283,96
2	56	0,468	229	1,24	283,96
3	83	0,468	230	1,25	287,5
4	56	0,312	228	1,23	280,44
5	83	0,468	230	1,24	285,2

Untuk perhitungan laju konsumsi gas dengan variasi 2 dan 3 selama 10 menit menggunakan rumus yang sama hanya ketentuan waktu yang disesuaikan dengan waktu pengujian. Adapun contohnya

Laju Konsumsi Hidrogen

$$m_{hyd} = \frac{0,224 \text{ g}}{10 \times 60 \text{ s}} = 0,374 \text{ mg/s}$$

Laju konsumsi LPG :

$$m_{lpg} = \frac{7,27 \text{ kg} - 7,22 \text{ kg}}{10 \times 60 \text{ s}} = 0,083 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 83 \text{ g/s}$$

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Massa Laju Aliran pengujian selama 10 menit

No	Laju Aliran (L/Menit)		Massa Laju Aliran Gas		V (Volt)	I(Ampere)	W (Watt)
	LPG	H ₂	$m_{lpg} \text{ (g/s)}$	$m_{hyd} \text{ (mg/s)}$			
1	1,5	0,2	83	0,374	228	1,23	280,44
2	1,5	0,3	67	0,281	229	1,24	283,96

Setelah didapatkan nilai laju konsumsi gas bahan bakar kemudian untuk mencari nilai efisiensi dibutuhkan nilai energi bahan bakar dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_{LPG} = \dot{m} \cdot \text{LHV} = \frac{\text{Joule}}{\text{s}} = \text{Watt}$$

$$Q_{\text{hyd}} = m_{\text{hyd}} \cdot \text{LHV} = \text{Watt}$$

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{LPG}} + Q_{\text{Hyd}}$$

Dengan ketentuan nilai LHV :

$$\text{LHV Gas LPG} = 33715.46 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV Gas H}_2 = 119810 \text{ kJ/kg}$$

Dimana dari hasil dari perhitungan digunakan untuk mencari nilai efisiensi thermal pada setiap variasi laju aliran dan waktu pengujian dilakukan. Adapun rumus efisiensi thermal mesin adalah sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{P}{Q_{tot}} \times 100 \%$$

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Efisiensi selama 60 menit

No	QLPG (W)	QH ₂ (W)	QTotal (W)	P (W)	Eff (%)
1	1873,1	56,014	1929,095	283,96	14,720
2	1873,1	56,014	1929,095	283,96	14,720
3	2809,6	56,014	2865,635	287,5	10,033
4	1873,1	37,343	1910,424	280,44	14,679
5	2809,6	56,014	2865,635	285,2	9,952
Rata-rata	2247,7	52,280	2299,777	284,212	12,821

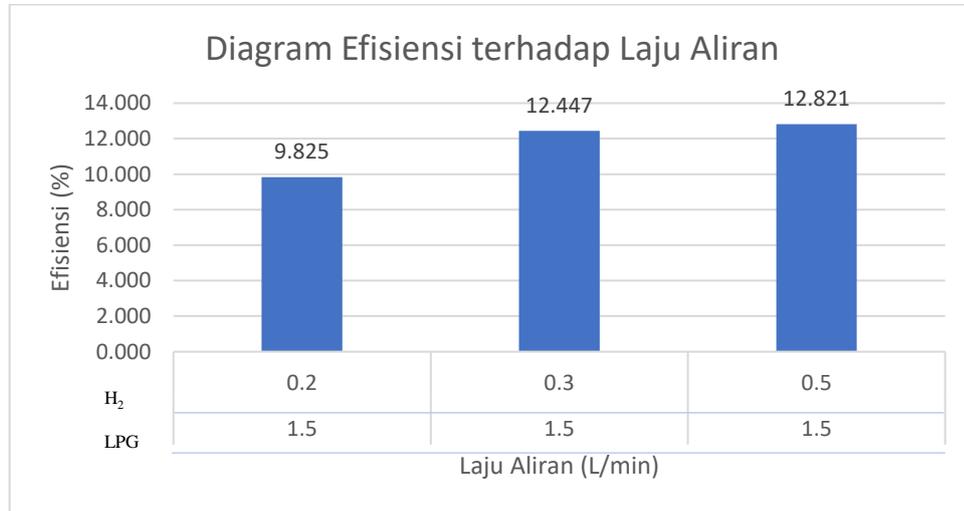
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Efisiensi Selama 10 Menit

No	Laju Aliran (L/Menit)		Q-LPG (Watt)	Q_Hyd (Watt)	Q_Total (Watt)	P (Watt)	Eff (%)
	LPG	H ₂					
1	1,5	0,2	2809,6	44,811	2854,433	280,44	9,825
2	1,5	0,3	2247,7	33,608	2281,306	283,96	12,447

4.3 Analisis Efisiensi

Analisis data terhadap kinerja mesin genset selama dengan variasi laju aliran menggunakan bahan bakar LPG dan hidrogen. Kinerja mesin akan dievaluasi berdasarkan perbandingan konsumsi bahan bakar antara LPG sebesar 1,5 L/Menit dan hidrogen sebesar 0,5 L/Menit, 0,3 L/Menit dan 0,2 L/Menit.

Data yang diperoleh akan digunakan untuk mengevaluasi nilai efisiensi terhadap waktu atau periode pembebanan dengan menampilkan diagram sebagai berikut:



Gambar 4.1 Diagram Efisiensi Terhadap Waktu Pembebanan

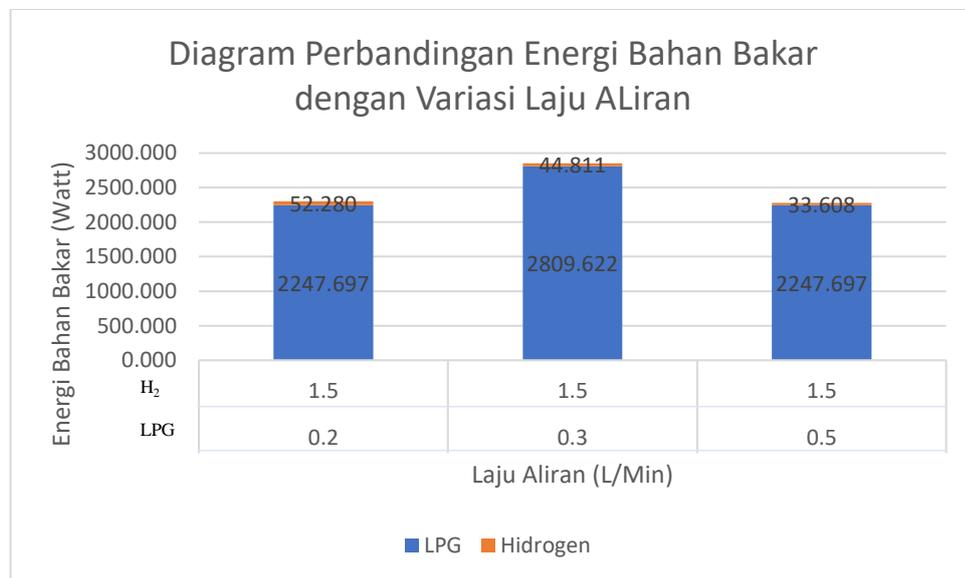
Jika dilihat dari diagram efisiensi terhadap laju aliran diatas, diagram tersebut menunjukkan dimana nilai efisiensi termal mengalami kenaikan ketika diberikan variasi laju aliran dengan kata lain semakin besar hidrogen yang dicampurkan maka nilai efisiensinya akan semakin besar. Kenaikan tersebut dikarenakan jumlah energi bahan bakar yang diserap berbeda-beda disetiap laju alirannya, dimana semakin tinggi nilai campuran laju alirannya maka nilai energi bahan bakarnya akan semakin tinggi, hal tersebut yang mempengaruhi nilai efisiensi karena nilai efisiensi berbanding terbalik dengan energi bahan bakar.

Untuk Variasi 1 dengan laju aliran LPG 1,5 L/Menit dan H₂ 0,2 L/Menit menghasilkan efisiensi yang rendah dengan nilai 9,825 % dan nilai energi bahan bakar sebesar 2854,433 Watt dengan daya yang dikeluarkan genset 280,44 Watt, kemudian untuk variasi 2 dengan laju aliran LPG 1,5 L/Menit dan H₂ 0,3 L/Menit menghasilkan kenaikan nilai efisiensi dari variasi pertama dengan nilai 12,447 % dengan nilai energi bahan bakar sebesar 2281,306 Watt dengan daya yang dikeluarkan genset 283,96 Watt dan untuk variasi 3 laju aliran LPG 1,5 L/Menit dan H₂ 0,5 L/Menit menghasilkan efisiensi yang tinggi dengan nilai 12,821 % dengan nilai energi bahan bakar sebesar 2299,977 Watt dengan daya yang dikeluarkan genset sebesar 283,212 Watt.

Hal tersebut mengidentifikasi jika memang nilai efisiensi akan berbanding terbalik dengan energi bahan bakar yang dipakai dimana energi bahan bakar ditentukan dari campuran bahan bakar itu sendiri.

4.4 Analisis Energi dari bahan bakar

Analisis energi dari bahan bakar terhadap waktu melibatkan pengukuran dan evaluasi jumlah energi yang dihasilkan oleh bahan bakar selama periode tertentu. Bahan bakar yang digunakan adalah LPG dan Hidrogen untuk menghidupkan mesin genset. Berikut diagram perbandingan energi bahan bakar terhadap waktu pengujian.



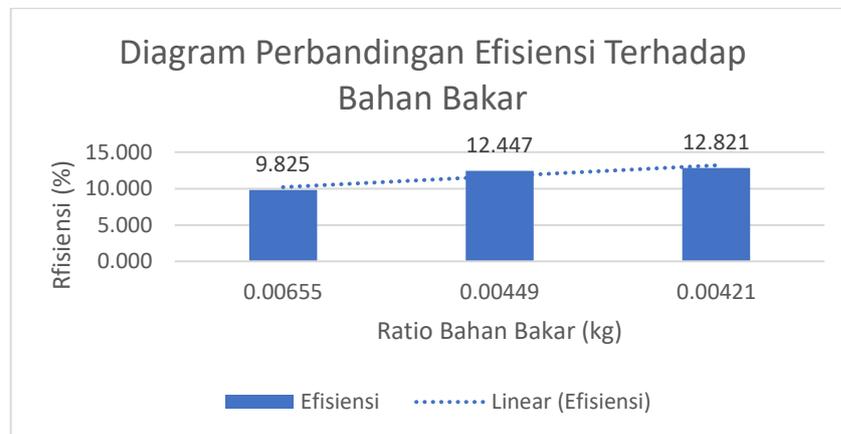
Gambar 4.2 Diagram Perbandingan Energi Bahan Bakar Terhadap Waktu

Berdasarkan gambar diatas menjelaskan jika energi bahan bakar LPG cenderung lebih besar dari energi hidrogen disetiap pengujiannya, hal tersebut dipengaruhi dari laju aliran yang dibedakan untuk setiap pengujian. Variasi 1 dengan laju aliran LPG sebesar 1,5 L/Menit dan Hidrogen 0,2 L/Menit menghasilkan energi bahan bakar total sebesar 2299,977 Watt, kemudian variasi 2 laju aliran LPG sebesar 1,5 L/Menit dan Hidrogen 0,3 L/Menit menghasilkan energi bahan bakar total sebesar 2854,433 Watt dan variasi 3 laju aliran LPG sebesar 1,5 L/Menit dan Hidrogen 0,5 L/Menit menghasilkan energi bahan bakar total sebesar 2281,306 Watt.

Hal tersebut menjelaskan jika energi bahan bakar berbanding lurus dengan variasi laju aliran dimana semakin besar variasi hidrogen yang ditambahkan dengan laju aliran LPG maka energi bahan bakar yang dikeluarkan akan semakin besar. Perbedaan tersebut dikarenakan pada pengujian Variasi 3, dilakukan dalam waktu pengujian selama 1 jam dan diulangi sebanyak 5 kali, sehingga gas LPG dan hidrogen yang diserap oleh genset lebih banyak dibandingkan percobaan variasi 1 dan 2.

4.5 Analisis Rasio Perbandingan Bahan Bakar Terhadap Nilai Efisiensi

Pengaruh ratio konsumsi bahan bakar LPG dan Hidrogen terhadap nilai efisiensi thermal.



Gambar 4.3 Diagram Ratio Bahan Bakar Terhadap Efisiensi

Jika dilihat dari gambar diagram diatas, hal tersebut menjelaskan jika ratio perbandingan tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai efisiensi. Yang mana jika dilihat dari data yang ada ratio 0,00655 dapat menghasilkan efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan rasio 0,00449, akan tetapi ratio 0,00449 yang lebih kecil dibanding dengan 0,00421 yang memiliki nilai efisiensi jauh lebih besar.

Perlu dilakukan analisis atau identifikasi lebih lanjut untuk memahami faktor-faktor yang menyebabkan variasi nilai efisiensi berbeda-beda. Hasil identifikasi dapat disimpulkan jika ratio bahan bakar tidak mempengaruhi hasil efisiensi tetapi yang sangat mempengaruhi hasil efisiensi adalah nilai besaran energi total penggabungan bahan bakar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Sesusai dari tujuan penelitian ini yaitu menganalisis efisiensi pencampuran bahan bakar LPG dan hidrogen pada mesin genset sebagai bahan bakar *Low Emisien Vehicle*. Untuk mencari nilai efisiensi tentunya diperlukan nilai-nilai yang digunakan untuk mencari nilai efisiensinya, mulai dari mencari massa gas LPG dan Hidrogen H₂ yang digunakan selama penelitian kemudian mencari besaran daya yang dikeluarkan mesin genset untuk menghidupkan beban yaitu gerinda, kemudian mencari nilai besaran energi dari bahan bakar LPG, Hidrogen dan Genset menggunakan rumus sesuai dengan perhitungan pada bab 4. Setelah semua nilai telah ditemukan barulah dapat menghitung nilai efisiensi thermal pada mesin genset disetiap pengujianya. Pada pengujian memiliki 3 variasi yang mana setiap variasi memiliki laju aliran yang berbeda-beda, variasi pertama menggunakan laju aliran 1,5 L/Menit LPG dan 0,2 L/Menit Hidrogen dengan waktu pengelitan 10 menit memiliki nilai efisisensi sebesar 9,825%. Kemudian variasi kedua menggunakan laju aliran 1,5 L/Menit LPG dan 0,3 L/Menit Hidrogen dengan waktu pengelitan 10 menit memiliki nilai efisisensi sebesar 12,477 % dan variasi ketiga menggunakan laju aliran 1,5 L/Menit LPG dan 0,5 L/Menit Hidrogen dengan waktu pengelitan 60 menit memiliki nilai efisisensi sebesar 12,821%. Hasil kesimpulanya menjelaskan jika efisiensi dipengaruhi oleh nilai besaran bahan bakar itu sendiri yang mana nilai energi bahan bakar dipengaruhi oleh laju aliran yang digunakan sehingga menghasilkan nilai efisiensi thermal yang tinggi.
2. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi bahan bakar LPG dan hidrogen pada mesin genset

sebagai bahan bakar *Low Emisien Vehicle*. Faktor yang mempengaruhi besaran efisiensi thermal itu sendiri adalah energi bahan bakar sedangkan energi bahan bakar dipengaruhi oleh konsumsi bahan bakar yang mana semakin besar energi bahan bakar maka konsumsi bahan bakar akan semakin tinggi. Pada penelitian ini konsumsi bahan bakar untuk variasi pertama sebesar 0,05 kg untuk LPG dan 0,000224 kg untuk Hidrogen dengan pengujian 10 menit. Kemudian variasi kedua sebesar 0,04 kg untuk LPG dan 0,000168 kg untuk hidrogen dengan waktu pengujian 10 Menit dan pada variasi ketiga sebesar 0,24 kg untuk LPG dan 0,00158 untuk hidrogen dengan waktu pengujian 60 menit. Besaran bahan bakar itu sendiri dipengaruhi oleh kinerja dari genset ketika diberikan pembebanan dimana semakin besar daya yang dikeluarkan mesin genset maka konsumsi bahan bakar akan semakin tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan pada penelitian kali ini terdapat saran, yang dimana didasari atas terlaksanakannya penelitian ini. Berikut ini saran yang diberikan pada penelitian kali ini yang bertujuan untuk memudahkan penelitian selanjutnya :

1. Menggunakan flow meter digital agar dapat membaca laju aliran dengan spesifik yang membuat pengambilan data lebih mudah
2. Timbangan digital dengan ketelitian yang baik dapat membantu proses pengambilan data massa menjadi lebih mudah.
3. Pengambilan data sebaiknya dilakukan ditempat terbuka agar sirkulasi udara lebih sehat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arend, BPM, & H. Barendschot. (1980). *Motor Bensin*. Erlangga.
- Dewi, E. L. (n.d.). *Potensi Hidrogen sebagai Bahan Bakar untuk Kelistrikan Nasional*.
- Fadly, E. R., & Pakan, Y. (2021). *ANALISIS VARIASI PUTARAN TERHADAP TORSI DAN DAYA PADA MOTOR DIESEL SATU SILINDER* (Vol. 6, Issue 1). <https://www>.
- Gabriel Paul Tumilar, Fielman Lisi, & Marthinus Pakiding. (2015). Optimalisasi Penggunaan Bahan Bakar Pada Generator Set Dengan Menggunakan Proses Elektrolisis. *E-Journal Teknik Elektro Dan Komputer*, 77–78.
- Ma, H., & Widiharsa, F. (2016). *FUEL CELL SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK ALTERNATIF PENGISI BATERAI DENGAN PENGENDALI PANAS*.
- Raharjo, Winarno Dwi, & Karnawo. (2008). *Mesin Konversi Energi*.
- Salim Siregar, M., Irwan, A., & Ibrahim, H. (2022). *SINERGIPolmed: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN ANALISIS PEMELIHARAAN BERKALA PADA MOTOR DIESEL GENERATOR SET DAYA 90 kVA SEBAGAI ENERGI LISTRIK CADANGAN UPT RUMAH SAKIT KHUSUS PARU INF O A R T I K E L*. <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index>
- Setiawan, I. C. (2019). Policy simulation of electricity-based vehicle utilization in indonesia (Electrified vehicle-hev, phev, bev and LEV). *Automotive Experiences*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.31603/ae.v2i1.2020>
- Widagdo, T., Witjahjo, S., Pengajar, S., Teknik, J., Politeknik, M., Sriwijaya, N., Srijayanegara, J., & Besar, B. (2014). KONVERSI BAHAN BAKAR MINYAK JENIS PREMIUM KE LPG PADA MESIN GENSET 3500 WATT MENGGUNAKAN METODE VACUUM VALVE SEBAGAI PENGATUR AFR. *JURNAL AUSTENIT VOLUME*, 6.
- Zainuri, F., Adhitya, M., Prasetyo, S., Syuriadi, A., Abdilah, A., Maryono, S., & Wahyudi, I. (n.d.). *Analisis Kinerja Konversi Kendaraan Konvensional Ke Listrik*. <http://jurnal.pnj.ac.id>

LAMPIRAN

Lampiran Perhitungan

1. Perhitungan Konversi Satuan Psi menjadi Pa

N (menit)	Laju Aliran (L/Min)		P(psi)			P(Pa)			T(o)K
	lpg	Hidrogen	P0	P1	ΔP	P0	P1	ΔP	
1(60)	1.5	0.5	1800	1500	300	12.4	10.342	2.068	298
2(60)	1.5	0.5	1500	1200	300	10.3	8.274	2.068	298
3(60)	1.5	0.5	1200	900	300	8.3	6.205	2.068	298
4(60)	1.5	0.5	900	700	200	6.2	4.826	1.379	298
5(60)	1.5	0.5	700	400	300	4.8	2.758	2.068	298
6(10)	1.5	0.2	100	60	40	0.7	0.414	0.276	298
7(10)	1.5	0.3	130	100	30	0.9	0.689	0.207	298

R (J/mol.K)	$(V m^3)$	n (g/mol)	massa gas (g)			Δm (kg)
			M0	M1	Δm	
4.124	1	2.016	10.098	8.415	1.683	0.00168
4.124	1	2.016	8.415	6.732	1.683	0.00168
4.124	1	2.016	6.732	5.049	1.683	0.00168
4.124	1	2.016	5.049	3.927	1.122	0.00112
4.124	1	2.016	3.927	2.244	1.683	0.00168
		rata-rata	6.845	5.274	1.571	0.00157
4.124	1	2.016	0.561	0.337	0.224	0.00022
4.124	1	2.016	0.729	0.561	0.168	0.00017

laju konsumsi	laju konsumsi	laju konsumsi
laju konsumsi hidorgen (mg/s)	laju konsumsi hidrogen(g/s)	laju konsumsi hidrogen(kg/s)
0.468	0.00046752	0.000000468
0.468	0.00046752	0.000000468
0.468	0.00046752	0.000000468
0.312	0.00031168	0.000000312
0.468	0.00046752	0.000000468
0.436	0.000436	0.000000436
0.374	0.00037402	0.000000374
0.281	0.00028051	0.000000281

waktu (menit)	No	m lpg (kg/s)	m hyd (kg/s)	LHV LPG (KJ/kg)	LHV hyd (KJ/kg)	Q LPG (Watt)
60	1	0.056	0.000000468	33715.46	119810	1873.1
60	2	0.056	0.000000468	33715.46	119810	1873.1
60	3	0.083	0.000000468	33715.46	119810	2809.6
60	4	0.056	0.000000312	33715.46	119810	1873.1
60	5	0.083	0.000000468	33715.46	119810	2809.6
					Rata-rata	2247.697
10	6	0.083	0.000000374	33715.46	119810	2809.6
10	7	0.067	0.000000281	33715.46	119810	2247.7

Q hyd (Watt)	Q total (Watt)	P (Watt)	efs (%)
56.014	1929.095	283.96	14.720
56.014	1929.095	283.96	14.720
56.014	2865.635	287.5	10.033
37.343	1910.424	280.44	14.679
56.014	2865.635	285.2	9.952
52.280	2299.977	284.212	12.821
44.811	2854.433	280.44	9.825
33.608	2281.306	283.96	12.447

2. Perhitungan Efisiensi

$$\eta = \left(\frac{\text{Energi Total Bahan Bakar}}{\text{Energi yang dikeluarkan}} \right) \times 100\%$$

Contoh :

$$\eta = \left(\frac{15,256}{1,022} \right) \times 100\% = 14,927 \%$$

NO	QH2(MJ)	Q LPG (MJ)	Q-total BB (MJ)	Energi Keluaran Genset(MJ)	(%)
1	0.202	9.2	9.402	1.022	10.870
2	0.202	9.2	9.402	1.022	10.870
3	0.202	13.8	14.002	1.035	7.392
4	0.135	9.2	9.335	1.01	10.820
5	0.202	13.8	14.002	1.027	7.335
6	0.027	1.84	1.867	1.010	54.078
7	0.020	2.3	2.320	1.022	44.059

DOKUMENTASI PENGAMBILAN DATA

