

**Analisa Pengaruh Penambahan *Dual Fuel* (Diesel-
Hidrogen) pada Performa Mesin Diesel**

Skripsi

**Untuk memenuhi Sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada Jurusan
Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun oleh

Reyhan Moraliwa Arif

3331180036

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

TUGAS AKHIR

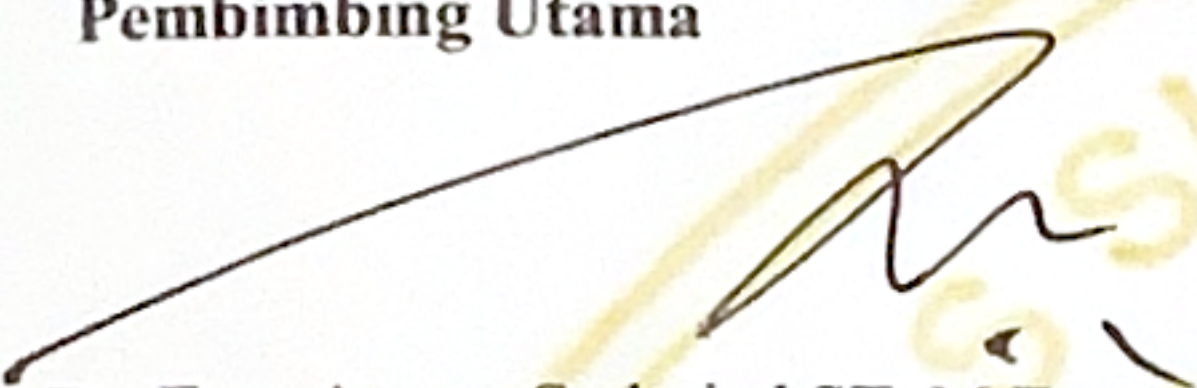
Analisa Pengaruh Penambahan Dual Fuel (Diesel-Hidrogen) pada Performa Mesin Diesel

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

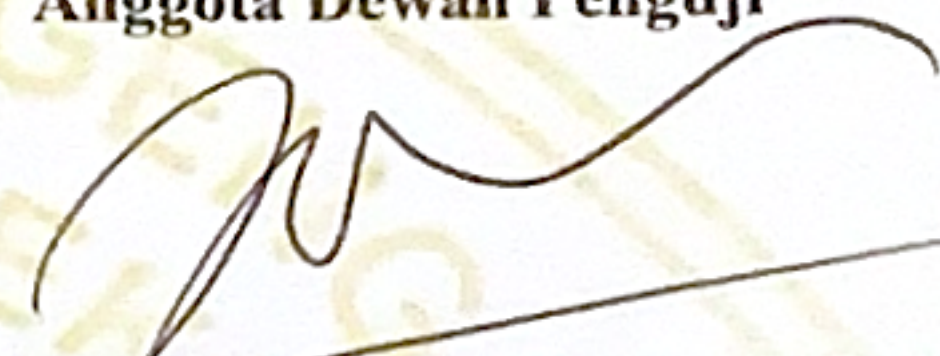
Reyhan Moraliwa Arif
3331180036

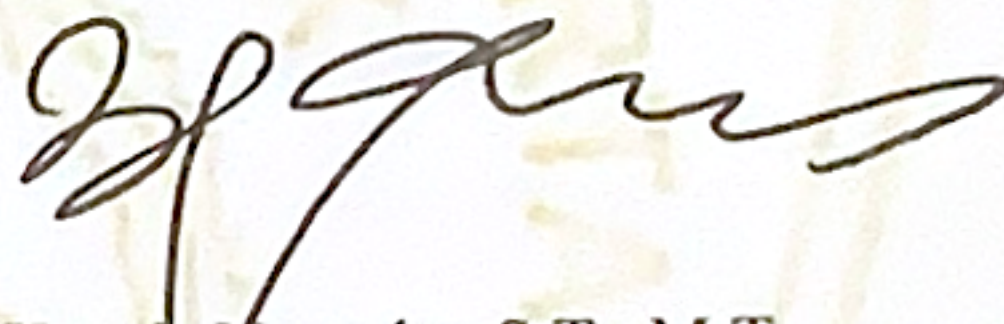
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 25 Juni 2024

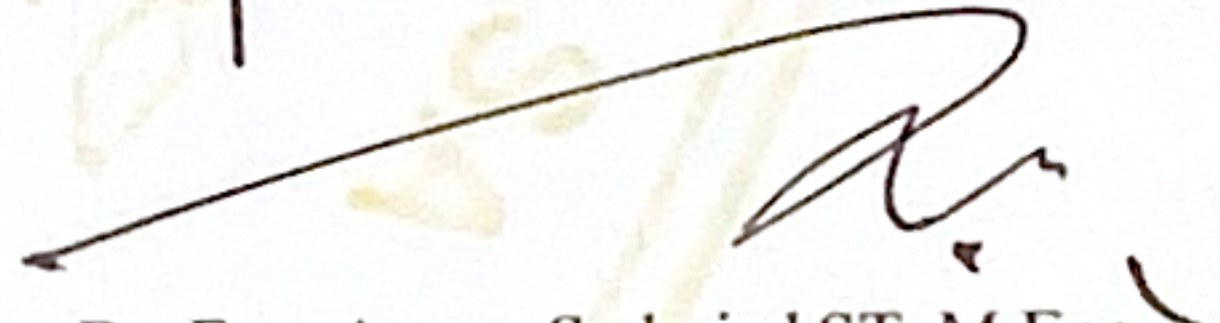
Pembimbing Utama


Dr. Eng. Agung Sudrajad, ST, M.Eng
NIP.197505152014041001

Anggota Dewan Penguji


Prof. Dr. Eng. Ir. Hendra, S.T., M.T
NIP.197311182003121000


Kurnia Nugraha, S.T., M.T
NIP. 197401042001011001


Dr. Eng. Agung Sudrajad, ST, M.Eng
NIP.197505152014041001

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


Tanggal, 04 September 2024
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Reyhan Moraliwa Arif

NPM : 3331180036

Judul : Analisa Pengaruh Penambahan Dual Fuel (Diesel-Hidrogen) pada Performa Mesin Diesel

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

MENYATAKAN

Bahwa Skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Cielgon, 25 September 2024



Reyhan Moraliwa Arif
NPM 3331180036

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, serta karunia-Nya yang senantiasa melimpahkan berkah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN DUAL FUEL (DIESEL-HIDROGEN) PADA PERFORMA MESIN DIESEL”. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah SAW yang telah membawa para umat-Nya ke zaman yang penuh ilmu pengetahuan ini. Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Selama menyelesaikan studi dan menyusun skripsi ini, penulis telah mendapat banyak bantuan dalam bentuk pengajaran, bimbingan, serta arahan dari berbagai sumber, baik secara langsung maupun tidak langsung. Maka dari itu, penulis ingin menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya dan terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara kandung yang selalu memberikan doa dan dukungan untuk memenuhi segala kebutuhan penulis.
2. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng., selaku ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Dr. Eng. Agung Sudrajad, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I atas segala bentuk pengajaran, bimbingan, serta arahan dari berbagai sumber, baik secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis.
4. Bapak Dr. Kuntang Winangun, S.Pd., M.Pd. selaku Dosen Pembimbing II atas segala bentuk pengajaran, bimbingan, serta arahan dari berbagai sumber, baik secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis.
5. Ibu Miftahul Jannah S.T., M.T., selaku Dosen koordinator Skripsi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

6. Seluruh Dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan segala bentuk ilmu dan bimbingan selama masa perkuliahan.
7. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Angkatan 2018 beserta keluarga besar HMM FT. UNTIRTA yang telah memberikan semangat, serta dukungan selama masa perkuliahan.
8. Delsa Adewati Agraeni yang telah menjadi *support system* terbaik untuk menemani dan memberikan semangat untuk menyelesaikan penulisan skripsi pada titik akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini masih memiliki kekurangan karena adanya keterbatasan penulis dalam hal kemampuan, pengetahuan, dan pengalaman. Oleh karena itu, penulis memohon maaf dan mengharapkan masukan dan saran yang membangun agar karya tulis selanjutnya dapat ditingkatkan. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi para pembacanya.

Cilegon, Juni 2024

Penulis

ABSTRAK

Hidrogen dapat dijadikan sebagai terobosan untuk membantu memaksimalkan pembakaran dari pembakaran bahan bakar yang kurang sempurna. Teknologi *dual fuel* merupakan pengembangan teknologi dengan dua bahan bakar dengan tujuan memaksimalkan proses pembakaran. Pengujian kali ini yang dilakukan adalah dengan mencampurkan bahan bakar mesin diesel dengan menambahkan gas hidrogen melalui saluran *intake* pada mesin diesel. Tujuan dilakukannya pengujian kali ini untuk mengetahui perbandingan daya, torsi, *Specific fuel consumption*, dan efisiensi thermal antara penggunaan bahan bakar tanpa campuran hidrogen (0 lpm) dan dengan adanya campuran hidrogen sebesar 2 lpm, 4 lpm dan 6 lpm pada putaran mesin 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm dan 2000 rpm. Dari pengujian yang telah dilakukan, putaran mesin yang menghasilkan efisiensi terbaik pada saat 2000 rpm sedangkan laju aliran hidrogen yang menghasilkan nilai terbaik pada saat 6 lpm. Perbandingan antara mesin diesel tanpa campuran hidrogen (0 lpm) dan laju aliran 6 lpm pada saat putaran mesin 2000 rpm diantaranya daya 1,497 kW dan 1,651 kW, torsi 7,11 Nm dan 7,85, Sfc 0,926 kg/kWh dan 0,324 kg/kWh, efisiensi thermal 8,31% dan 21,68%. *Dual fuel* sangat berpengaruh pada nilai SFC dan efisiensi thermal dikarenakan adanya campuran bahan bakar hidrogen yang memiliki massa sangat kecil dan nilai kalor yang lebih besar dibandingkan dengan dextrite. Nilai kalor hidrogen yang tinggi dapat mengeluarkan energi yang lebih besar berdasarkan massa dari yang terbakar pada pembakaran.

Kata Kunci : *Dual Fuel*, Diesel, Hidrogen

ABSTRACT

Hydrogen can be used as a breakthrough to help maximize the combustion of incomplete fuel. The dual fuel technology is the development of two-fuel technology with the aim of maximizing the burning process. The research this time was by mixing the fuel of the diesel engine with the addition of hydrogen gas through the intake channel of the engine. The purpose of this test is to determine the comparison of power, torque, Specific fuel consumption, and thermal efficiency between the use of fuel without hydrogen mixture (0 lpm) and with the hydrogen mixture of 2 lpm, 4 lpm and 6 lpm at engine speeds of 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm and 2000 rpm. From the tests that have been done, the engine speed that produces the best efficiency at 2000 rpm while the hydrogen flow rate that produces the best value at 6 lpm. Comparison between diesel engines without hydrogen mixture (0 lpm) and 6 lpm flow rate at 2000 rpm engine speed including power 1.497 kW and 1.651 kW, torque 7.11 Nm and 7.85, Sfc 0.926 kg/kWh and 0.324 kg/kWh, thermal efficiency 8.31% and 21.68%. Dual fuel is very influential on the value of SFC and thermal efficiency due to the mixture of hydrogen fuel which has a very small mass and greater calorific value compared to dextrite. The high calorific value of hydrogen can release greater energy based on the mass of what is burned in combustion.

Kata Kunci : *Dual Fuel, Diesel, Hydrogen*

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Peneltian.....	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State of The Art</i>	4

2.2 Mesin Diesel	5
2.3 Daya	5
2.4 Torsi.....	6
2.5 Efisiensi Thermal	6
2.6 <i>Specific Fuel Consumption</i>	7
2.7 Bahan Bakar Hidrogen.....	8
2.8 Teknologi Peningkatan Efisiensi Mesin.....	9
2.9 Proses Pembakaran <i>Dual Fuel</i>	10

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir.....	12
3.2 Metode Penelitian.....	13
3.3 Skema Penelitian (<i>Set Up Experiment</i>)	14
3.4 Alat dan Bahan	14
3.4.1 Alat	15
3.4.2 Bahan	19
3.5 Prosedur Pengujian	20

BAB IV ANALISA DAN EVALUASI DATA

4.1 Analisa <i>Dual Fuel</i>	22
4.1.1 Keamanan <i>Dual Fuel</i>	23
4.2 Perhitungan	24
4.3 Analisa Daya.....	29
4.4 Analisa Torsi.....	30

4.5 Analisa <i>Specific Fuel Consumption</i>	31
4.6 Analisa Efisiensi Thermal	35

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran.....	38

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Dual fuel</i>	10
Gambar 2.2 Pembakaran <i>Dual fuel</i>	11
Gambar 3.1 Diagram Alir	13
Gambar 3.2 Skema Penelitian	14
Gambar 3.3 Motor Diesel Dongfeng R175 A.....	15
Gambar 3.4 <i>Tachometer</i>	16
Gambar 3.5 <i>Flowmeter</i>	16
Gambar 3.6 <i>Stopwatch</i>	17
Gambar 3.7 Burret	17
Gambar 3.8 Meja Lampu Pembebanan	18
Gambar 3.9 <i>Flashback Arrestor</i>	18
Gambar 3.10 <i>Flame Trap</i>	19
Gambar 3.11 Hidrogen	19
Gambar 4.1 Cara Kerja <i>Dual Fuel</i>	23
Gambar 4.2 Keamanan <i>Dual Fuel</i>	24
Gambar 4.3 Perbandingan Nilai Daya	29
Gambar 4.4 Perbandingan Nilai Torsi	31
Gambar 4.5 Perbandingan Nilai <i>Specific Fuel Consumption</i>	32
Gambar 4.6 Perbandingan Nilai Efisiensi Thermal	36

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Diesel.....	15
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Dual fuel</i> 0 LPM.....	24
Tabel 4.2 Hasil Pengujian <i>Dual fuel</i> 2 LPM.....	24
Tabel 4.3 Hasil Pengujian <i>Dual fuel</i> 4 LPM.....	25
Tabel 4.4 Hasil Pengujian <i>Dual fuel</i> 6 LPM.....	25
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Daya	29
Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Torsi	30
Tabel 4.7 Perbandingan Nilai <i>Specific Fuel Consumption</i>	32
Tabel 4.8 Laju Aliran Dexlite	33
Tabel 4.9 Presentase Dexlite yang Tergantikan oleh Hidrogen	33
Tabel 4.10 Nilai Ekonomis Dexlite	34
Tabel 4.11 <i>Flow Mass</i> Hidrogen.....	34
Tabel 4.12 Nilai Ekonomis <i>Dual Fuel</i>	35
Tabel 4.13 Nilai Ekonomis <i>Dual Fuel</i>	35
Tabel 4.14 Perbandingan Nilai Efisiensi Thermal.....	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi motor bakar yang salah satunya motor bakar diesel yang mempunyai potensi untuk dikembangkan. Penggunaan motor diesel dapat diklaim lebih hemat dan efisien 25% dibandingkan motor bakar bensin (Kalamajaya, 2016). Namun dari penggunaan bahan bakar yang digunakan motor bakar diesel menyebabkan polusi yang melebihi motor bakar bensin. Bahan bakar yang umum digunakan pada kendaraan di Indonesia menggunakan dan dexlite yang merupakan bahan bakar dengan angka setana yang rendah sehingga menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna.

Hidrogen dapat dijadikan sebagai terobosan untuk membantu memaksimalkan pembakaran dari pembakaran bahan bakar yang kurang sempurna. Mengingat kendaraan bermotor dengan bahan bakar hidrogen sulit diterapkan dan sedang dikembangkan, penerapan sistem *dual fuel* untuk membantu meningkatkan efisiensi dari kendaraan bermotor layak untuk di uji coba dan dikembangkan lebih lanjut.

Teknologi dalam pengembangan untuk meningkatkan efisiensi dan performa dari *Combustion Engine* sudah diterapkan. Ada 3 macam teknologi peningkatan efisiensi. Berbagai macam cara dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari mulai sebelum pembakaran (*Before Combustion*) dengan cara pencampuran bahan bakar, proses pembakaran (*Combustion Process*) dengan mengaplikasikan *Dual Injector* demi meningkatkan performa dan efisiensi dari mesin diesel sebagai contohnya, dan setelah pembakaran (*After Combustion*) dengan membersihkan gas buang dari motor bakar.

Teknologi *dual fuel* merupakan pengembangan teknologi dengan dua bahan bakar dengan tujuan memaksimalkan proses pembakaran. Meningkatkan efisiensi dengan *dual fuel* merupakan teknologi peningkatan efisiensi dengan metode sebelum proses pembakaran (*Before Combustion*).

Penambahan hidrogen pada mesin diesel 1461cc *Turbocharged* membuktikan performa yang lebih baik dibandingkan tanpa penambahan hydrogen. (Yilmaz & Gumus, 2018)

Penerapan *dual fuel* pada mesin diesel salah satunya adalah penambahan hidrogen pada *intake manifold* mesin diesel. Dengan pengaturan laju aliran gas hidrogen yang tercampur dengan udara bebas pada *intake manifold* mesin diesel dapat membantu reaksi pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel guna meningkatkan efisiensi dari mesin diesel.

Teknologi pengembangan bahan bakar hidrogen sedang maraknya di uji coba oleh pabrikan otomotif ataupun akademisi guna meningkatkan kualitas udara sekitar. Salah satu hasil dari uji coba dengan penambahan bahan bakar hidrogen adalah penurunan kadar CO₂ dan asap menurun karena penurunan kadar karbon dari pembakaran yang lebih baik menggunakan *dual fuel system*. *Dual fuel* dengan hidrogen memiliki keuntungan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar diesel, meningkatkan efisiensi termal mesin, menurunkan emisi gas buang CO dan THC. (Koten, 2018)

Perbedaan yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah menggunakan mesin diesel DongFeng R175 A dengan kubikasi yang kecil sebesar 353cc dengan penambahan laju aliran hidrogen sebesar 2 lpm, 4 lpm dan 6 lpm. Pengujian dilakukan pada putaran mesin 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm dan 2000 rpm sehingga mendapatkan grafik yang mendetail pada setiap perbandingannya. Dari pengujian penambahan juga dibandingkan dengan tanpa adanya penambahan hidrogen agar dapat melihat kenaikan performa bila ditamhkannya hidrogen pada mesin diesel.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh penambahan hidrogen pada mesin diesel terhadap performa yang meliputi daya, torsi, efisiensi thermal dan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik (Sfc).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini diantaranya yaitu :

1. Mengetahui nilai dan perbandingan besarnya daya dan torsi dengan penambahan *Dual fuel* (diesel-hidrogen) dan tanpa penambahan *Dual fuel* pada mesin diesel.
2. Mengetahui nilai dan perbandingan efisiensi thermal dan pemakaian bahan bakar spesifik (Sfc) dengan *Dual fuel* (diesel-hidrogen) dan tanpa penambahan *Dual fuel* pada mesin diesel.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan terdapat 2 hal yaitu

1. Mengetahui pengaruh efisiensi thermal dan besarnya pemakaian bahan bakar (Sfc) dari mesin diesel dengan adanya penambahan *Dual fuel* (diesel-hidrogen).
2. Mengetahui pengaruh daya dan torsi dari mesin diesel dengan adanya penambahan *Dual fuel* (diesel-hidrogen).
3. Memberikan kontribusi ilmu pengetahuan dalam pengembangan *Dual fuel* (diesel-hidrogen pada mesin diesel).

1.5 Batasan Masalah

Dengan luasnya cakupan ilmu pada penelitian kali ini, maka diperlukannya beberapa batasan yang digunakan pada penelitian dan penulisan dalam skripsi kali ini, yaitu :

1. Penelitian ini terfokus pada pengaruh penambahan hidrogen pada saluran *intake manifold*.
2. Hasil yang dicapai yaitu adanya perubahan performa yang meliputi daya, torsi, efisiensi thermal dan besar pemakaian bahan bakar spesifik (Sfc) dengan penambahan hidrogen pada saluran *intake manifold*.
3. Pengujian emisi gas buang hanya menggunakan mesin diesel jenis Dong Feng R175A yang berada di Laboratorium Konversi Energi Jurusan

Teknik Mesin FT.Untirta.

4. Jenis bahan bakar yang digunakan pada saat pengujian adalah bahan bakar dexlite.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of The Art*

Dalam penulisan laporan ini, penulis menggunakan beberapa referensi dari berbagai penelitian sebelumnya seperti skripsi dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian kali ini. (Yilmaz & Gumus, 2018) melakukan penelitian dengan menambahkan gas hidrogen sebesar 20 lpm dan 40 lpm pada saluran *intake* mesin diesel dengan spesifikasi daya sebesar 48 kW, berkapasitas mesin 1461 cm³, 4 silinder dengan sistem *turbocharged* dan *commonrail rail fuel system*. Hasil yang diperoleh dengan melakukan pembebanan 50 Nm, 75 Nm, dan 100 Nm berdampak positif baik untuk emisi maupun performa. Pada campuran bahan bakar diesel dan hidrogen sebesar 40lpm mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa adanya campuran hidrogen.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh (Miyamoto et al., 2011) melakukan penambahan hidrogen pada saluran *intake* pada mesin diesel. Penambahan hidrogen pada saluran *intake* pada mesin diesel disebut juga sebagai *dual fuel* karena terdapat dua bahan bakar, yaitu bahan bakar minyak dan hidrogen. Penelitian yang dilakukan menggunakan mesin diesel dengan sistem *commonrail* pada putaran konstan 1500 rpm. Tekanan hidrogen dijaga 400 kPa pada ujung *valve* menggunakan tekanan pengontrol. Dengan penambahan volume udara sebesar 3,9% dari volume udara yang masuk ke ruang bakar, emisi gas buang yang di hasilkan menurun sebesar 50%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Yadav et al., 2014) menggunakan mesin diesel 1 silinder dengan spesifikasi daya sebesar 4,4 kW pada putaran 1500 rpm yang diberi pembebanan generator. Dengan menambahkan gas hidrogen sebesar 80 g/hr, 120 g/hr, dan 150 g/hr. Hasil yang didapatkan dengan menambahkan 120 g/hr pada saluran *intake* mesin diesel didapatkan pembakaran yang paling optimal diantara variable lainnya. Pembakaran yang oprimal didapatkan nilai emisi yang rendah.

Selain itu, penulis menggunakan referensi dari penelitian yang mencampurkan bahan bakar biodiesel kelapa sawit dengan penambahan

hidrogen didapatkan peningkatan terjadi pada efisiensi termal dengan aliran hidrogen maksimal 10 lpm sebesar 29.85%. Selain itu terjadi peningkatan daya sebesar 0.78% pada aliran hidrogen 7.5lpm dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel. (Winangun et al., 2023).

2.2 Mesin Diesel

Mesin diesel disebut juga mesin dengan penyalaan kompresi, karena cara membakar bahan bakarnya dengan menyemprotkan bahan bakar oleh *injector* ke dalam ruang bakar yang telah bertekanan dan bertemperatur tinggi akibat langkah kompresi piston yang menekan udara murni. Mesin diesel termasuk jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion*). Pemakaian mesin diesel lebih hemat bahan bakar sekitar 25% dibandingkan dengan mesin bensin (Kalamajaya, 2016). Mesin diesel memiliki tingkat efisiensi termal yang lebih tinggi dari mesin bensin, namun memiliki kekurangannya yaitu mengeluarkan emisi partikulat 100 kali lebih banyak dari mesin bensin. (Maymuchar & Wibowo, 2011)

2.3 Daya

Daya merupakan salah satu bentuk energi. Daya yang disalurkan dari mesin diesel menuju generator merupakan salah satu bentuk penyaluran energi. Terdapat daya input dan daya output dari perpindahan daya dari mesin diesel menuju generator. Untuk menghitung daya yang disalurkan dapat menggunakan perhitungan Daya efektif pada generator (N_e).

Untuk perhitungan Daya Efektif (N_e) pada motor diesel.

$$N_e = \frac{V_1 \times I \times \cos \phi}{\eta_{generator} \times \eta_{tr} \times 1000} \quad (1)$$

Dimana :

- V = Tegangan Listrik (Volt)
- N_e = Daya Efektif (kW)
- I = Kuat Arus (Ampere)
- $\cos \phi$ = Faktor Daya Listrik (0,99)
- $\eta_{generator}$ = efisiensi generator (0,85)

- $\eta_{tr} = \text{efisiensi transmisi (slip)} = \frac{D.pulley\ generator}{D.pulley\ motor} \times \frac{n.generator}{n.motor}$

2.4 Torsi

Torsi atau bisa disebut juga momen gaya adalah suatu besaran yang menyatakan besarnya sebuah gaya yang membuat sebuah benda bergerak berotasi. Besaran satuan dari torsi atau momen gaya adalah Newton meter (Nm). Torsi pada mesin diesel terdapat pada *crankshaft* yang berputar akibat dari gaya ledakan dari mesin yang bekerja. Pada mesin Dong Feng R175, *crankshaft* satu poros dengan pulley yang menggerakkan generator. Maka dari itu untuk menghitung nilai Torsi nya sebagai berikut :

$$T = \frac{Ne \times 60 \times 1000}{2\pi \times n.motor} \quad (2)$$

Dimana :

- Ne = Daya Efektif (kW)
- T = Torsi (Nm)
- n = Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)

2.5 Efisiensi Thermal

Ketika mesin kalor bekerja akan menghasilkan energi panas. Mesin kalor sering kali beroperasi dengan efisiensi sekitar 30% hingga 50%, karena keterbatasan praktis. Tidak mungkin mesin kalor mencapai efisiensi termal 100% menurut hukum Kedua termodinamika. Hal ini tidak mungkin karena sebagian panas terbuang selalu dihasilkan dalam mesin kalor . Panas adalah ukuran efisiensi bahan bakar mesin yang menggunakan pembakaran internal, dan efisiensi termal. Efisiensi termal pada mesin diesel adalah rasio daya yang tersedia di poros engkol dibandingkan daya yang dihasilkan di dalam silinder dan laju energi panas dari bahan bakar yang dikonsumsi. (Ghosh, 2024)

Persamaan Efisiensi Thermal :

$$\eta_{th} = \left(\frac{Ne}{f_c \times L_{hv}} \right) \times 100 \% \quad (3)$$

Dimana :

- η_{th} = Efisiensi Thermal (%)
- N_e = Daya Efektif (kW)
- f_c = Konsumsi bahan bakar (kg/h)
- L_{hv} = *Low heat value* (kWh/kg)

2.6 *Specific Fuel Consumption*

Specific Fuel Consumption (SFC) merupakan parameter yang biasa digunakan pada motor pembakaran dalam untuk menggambarkan pemakaian bahan bakar. *Specific Fuel Consumption* didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan (output). Dapat pula dikatakan bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin untuk dijadikan daya output. Satuan dalam Sistem Internasional (SI) adalah kg/kWh. SFC disebut *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) apabila menggunakan *Brake Horse Power*, dan jika menggunakan *indicated Power* maka disebut *Indicated Specific Fuel Consumption* (ISFC). Nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu, nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu, nilai SFC yang rendah sangat diinginkan untuk mencapai efisiensi bahan bakar. *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) juga merupakan suatu parameter yang tepat untuk mengukur efisiensi termal dan juga untuk membandingkan kinerja mesin (Monasari et al., 2021)

Persamaan rumus Sfc :

$$Sfc = \frac{V_f \times \rho_f}{N_e} \quad (4)$$

Dimana :

- Sfc = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)
- N_e = Daya efektif (kW)
- ρ_f = Densitas 15°C pada sampel minyak (kg/dm³)
- $V_f = \frac{Vol}{Waktu} = \text{Vol. bahan bakar per waktu yang di gunakan (dm}^3/\text{h)}$

2.7 Bahan Bakar Hidrogen

Hidrogen merupakan unsur penting bagi energi baru terbarukan. Hidrogen bisa didapatkan dengan cara elektrolisis, konversi gas alam, gasifikasi batu bara dan banyak lainnya. Keunggulan dari hidrogen sebagai bahan bakar adalah sangat rendah emisi, tinggi efisiensi, waktu pembakaran yang cepat, ketersediaan jangka panjang dan nilai kalor yang tinggi. Pembakaran hidrogen dilakukan bersamaan dengan oksigen murni hanya akan menghasilkan H₂O tanpa adanya CO₂.

Sistem pembakaran hidrogen tidak akan menghasilkan hujan asam, menipisnya lapisan ozon ataupun pencemaran lingkungan. Untuk mencapai rendah emisi gas buang dan performa yang baik dibutuhkan pencampuran hidrogen dengan bahan bakar diesel. (Yilmaz & Gumus, 2018). Hidrogen merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang paling menjanjikan, mengingat hidrogen adalah bahan bakar bebas karbon sehingga mesin yang menggunakan bahan bakar utamanya adalah hidrogen tidak menghasilkan asap maupun CO₂. (Miyamoto et al., 2011)

Penerapan mesin berbahan bakar hidrogen sendiri sudah diterapkan, namun belum dijual massal mengingat masih dalam pengembangan untuk dijadikan kendaraan operasional sehari-hari. Dikarenakan hidrogen adalah bahan bakar bebas karbon, maka reaksi pembakaran yang dihasilkan bebas dari emisi gas buang yang dapat mencemari lingkungan. Selain itu, hidrogen memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga dapat dijadikan bahan bakar alternatif yang rendah emisi serta efisien. Penambahan hidrogen pada mesin diesel dapat dijadikan inspirasi untuk menjadikan mesin diesel mengadopsi *dual fuel* guna meningkatkan performa dan efisiensi dari mesin diesel.

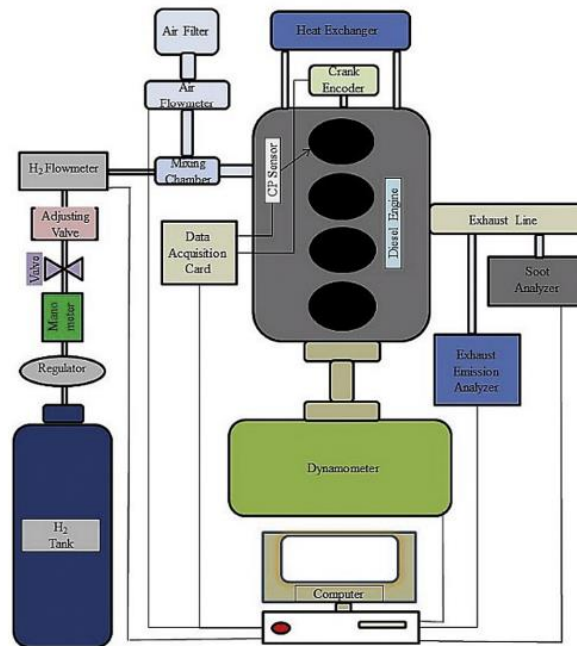
Adapun penelitian yang mencampurkan bahan bakar biodiesel kelapa sawit dengan penambahan hidrogen didapatkan peningkatan terjadi pada efisiensi termal dengan aliran hidrogen maksimal 10 lpm sebesar 29.85%. Selain itu terjadi peningkatan daya sebesar 0.78% pada aliran hidrogen 7.5lpm dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel. (Winangun et al., 2023).

2.8 Teknologi Peningkatan Efisiensi Mesin

Teknologi dalam pengembangan untuk menurunkan emisi gas buang dari *Combustion Engine* sudah diterapkan. Ada 3 macam teknologi peningkatan efisiensi. Berbagai macam cara dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari mulai sebelum pembakaran (*Before Combustion*) dengan cara pencampuran bahan bakar, proses pembakaran (*Combustion Process*) dengan mengaplikasikan *Dual Injector* demi menurunkan emisi sebagai contohnya, dan setelah pembakaran (*After Combustion*) dengan memanfaatkan gas buang untuk memutar propeller pada komponen *turbocharge*.

Teknologi yang sedang di uji coba adalah penambahan hidrogen pada saluran masuk udara. Teknologi ini menggunakan metode sebelum pembakaran (*Before Combustion*). Penambahan hidrogen bertujuan agar menyempurnakan reaksi pembakaran sehingga menghasilkan peningkatan efisiensi.

Salah satu teknologi *Before Combustion* adalah *Dual fuel*. *Dual fuel* adalah salah satu metode pembakaran *Internal Combustion* yang menggunakan dua bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dexlite dan hidrogen. Dengan mencampurkan hidrogen dengan udara bebas dapat membantu bahan bakar utama sebagai tambahan untuk proses pembakaran pada mesin diesel.

Gambar 2.1 *Dual fuel*

(Sumber : I.T Yilmaz & M. Gumuz, 2018)

2.9 Proses Pembakaran *Dual fuel*

Mesin diesel 4 langkah memiliki 4 tahapan dalam proses pembakaran, Langkah tersebut berupa proses piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah) dan kebalikannya. Udara masuk ke dalam ruang bakar dan beberapa derajat sebelum mencapai TMA bahan bakar mulai disemprotkan. Bahan bakar akan segera menguap dan bercampur dengan udara yang sudah bertemperatur tinggi sehingga terjadinya pembakaran pada Langkah kerja. (Arismunandra, 1983)

Dual fuel memanfaatkan hidrogen sebagai bahan bakar tambahan untuk memaksimalkan proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar. Hidrogen ikut terhisap pada saat Langkah Hisap melalaui saluran *intake manifold* menuju ruang bakar bersamaan dengan udara yang terhisap.

Pada saat Langkah Kerja udara dan bahan bakar yang sudah terkompresi terlebih dahulu yang terbakar. Hal tersebut dikarenakan *auto ignition temperature* dari bahan bakar diesel lebih rendah dibandingkan hidrogen.

Setelah terbakarnya campuran udara dan bahan bakar, disaat yang bersamaan hidrogen ikut terbakar.



Gambar 2.2 Pembakaran *Dual fuel*

(Sumber :(Tsujimura & Suzuki, 2017))

Sisa pembakaran berupa CO dan HC merupakan hasil pembakaran tidak sempurna yang masih dapat terbakar. Dengan adanya hidrogen terbakar setelah bahan bakar dan udara terbakar, CO dan HC terbakar bersamaan dengan hidrogen sehingga menghasilkan CO₂ dan air. Proses tersebut dapat menurunkan emisi gas buang dari CO dan HC serta meningkatkan performa dan efisiensi dari mesin diesel.

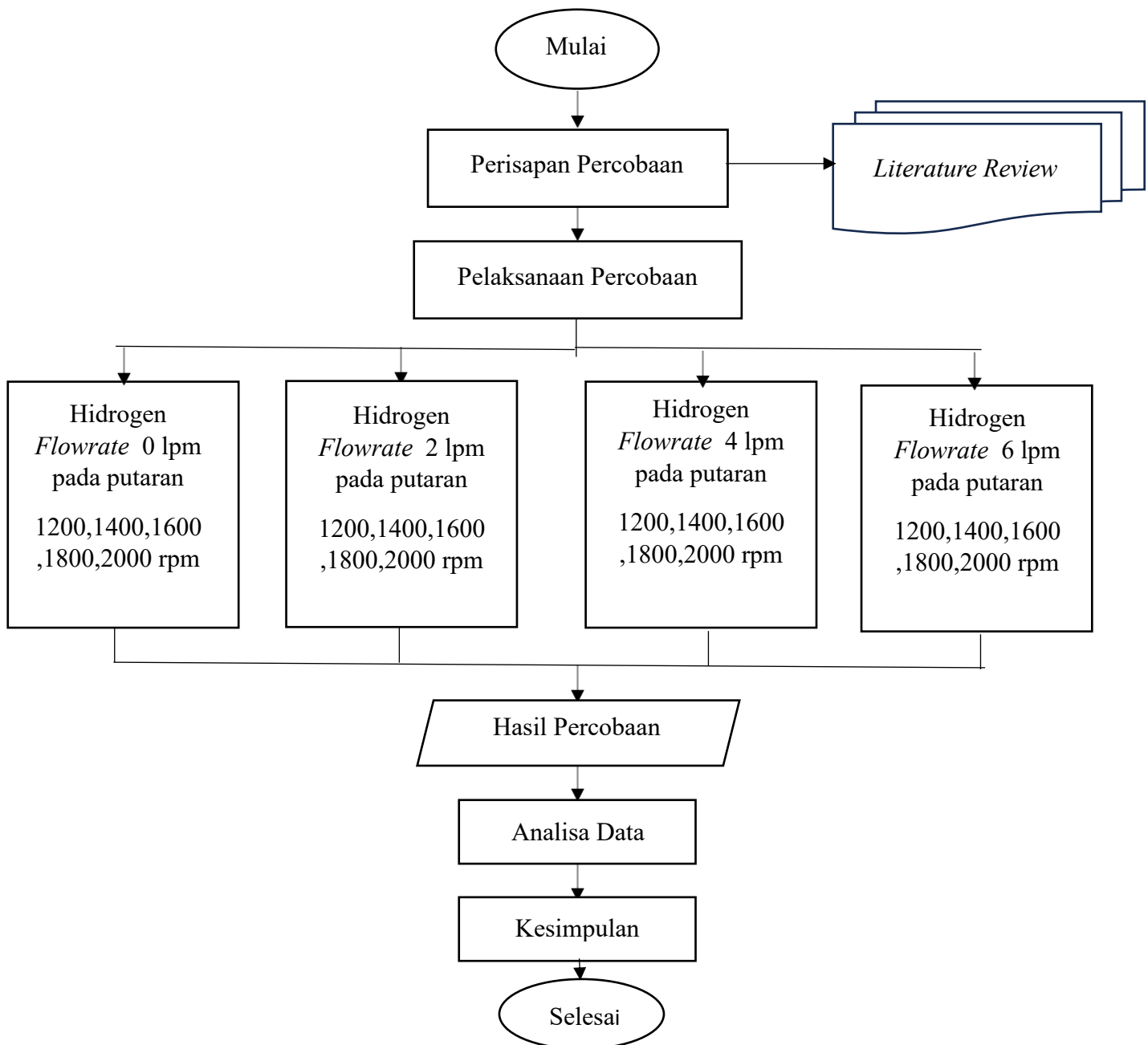
Adanya perbedaan nilai AFR (*Air Fuel Ratio*) antara bahan bakar diesel dengan bahan bakar hydrogen, dimana bahan bakar hydrogen memiliki nilai AFR sebesar 34,3 menyebabkan adanya penurunan emisi dari reaksi pembakaran *dual fuel*. Pada pengujian menggunakan campuran Biodiesel dengan nilai AFR 12.5 dapat ditunjukkan penurunan emisi berdasarkan banyaknya komposisi bahan bakar hydrogen yang terbakar dalam ruang bakar. HES (*Hydrogen Energy Share*) merupakan seberapa banyak H₂ yang berkontribusi pada bahan bakar diesel. Pada laju aliran 2.5 lpm, 5 lpm, 7.5 lpm, 10 lpm didapatkan nilai HES sebesar 3.11%, 7.57%, 10.4% dan 17.21%. Semakin tinggi aliran hidrogen, bahan bakar biodiesel yang diinjeksikan ke ruang bakar akan semakin berkurang. (Winangun et al., 2023)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir yang terdapat pada penelitian kali ini yaitu:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengujian

3.2 Metode Penelitian

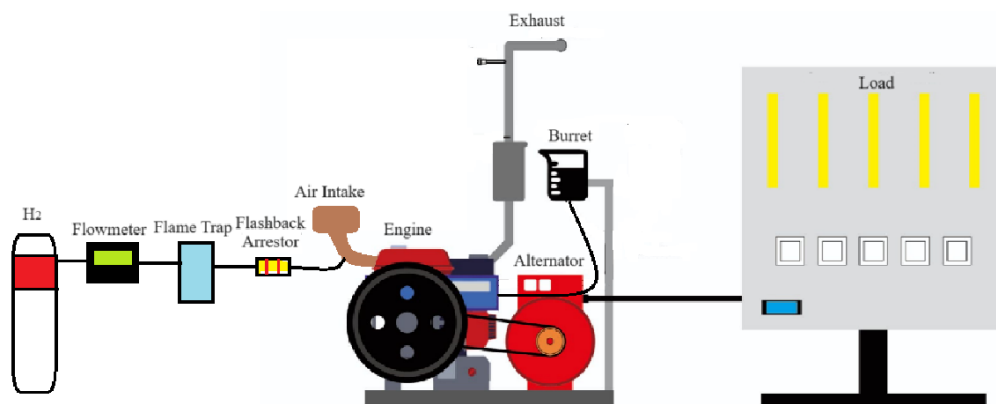
Pada penelitian kali ini berfokus kepada analisa efek dari penambahan hidrogen pada *intake manifold* mesin diesel terhadap emisi gas buang. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis hasil eksperimen dan pengamatan dari hasil gas buang mesin diesel yang sudah ditambahkan gas hidrogen pada *intake manifold*. Teknologi yang digunakan guna menurunkan emisi gas buang adalah teknologi *Before Combustion* (Sebelum Pembakaran). Teknologi tersebut berupa *dual fuel*, yaitu terdapat dua asupan bahan bakar diantaranya adalah bahan bakar diesel (dexlite) dan hidrogen.

Percobaan ini dilakukan dengan menambahkan gas hidrogen dari tabung melalui *flow meter* lalu masuk ke *intake manifold* mesin diesel. Setelah reaksi pembakaran yang terjadi, menghitung nilai daya, torsi, bahan bakar spesifik dan efisiensi termal pada mesin. Penambahan hidrogen dilakukan dengan beberapa variabel, dengan tujuan mendapatkan perbedaan dengan penambahan gas hidrogen dengan 2 lpm, 4 lpm, 6 lpm dan tanpa penambahan gas hidrogen (0 lpm) pada setiap rpm-nya. Variabel tersebut berdasarkan laju aliran gas hidrogen yang melalui *flow meter*, diantaranya 0 lpm, 2 lpm, 4 lpm, dan 6 lpm (l/menit). Dari keempat laju aliran tersebut masing - masing di uji coba pada putaran 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm, dan 2000 rpm (*Revolution per Minute*).

Pada penelitian kali ini memiliki dua variabel penelitian, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Dengan variabel bebas yaitu laju aliran gas hidrogen, dan putaran motor. Sedangkan terdapat variabel terikat yaitu nilai daya, torsi, bahan bakar spesifik dan efisiensi termal.

3.3 Skema Penelitian (*Set Up Experiment*)

Pada penelitian kali ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan gas hidrogen pada *intake manifold* mesin diesel terhadap emisi gas buang dari pembakaran yang terjadi pada mesin diesel. Skema yang dilakukan untuk memenuhi tujuan tersebut yaitu dengan dilakukannya penambahan *dual fuel* pada mesin diesel. Hasil dari pembakaran yang berupa nilai daya, torsi, bahan bakar spesifik dan efisiensi termal.



Gambar 3.2 Skema Penelitian

3.4 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan sebagai penunjang untuk studi kali ini sebagai berikut:

3.4.1 Alat

1. Motor Diesel



Gambar 3.3 Motor Diesel Dongfeng R175 A

(Sumber Gambar : Laboratorium Prestasi Mesin JTM-UNTIRTA)

Motor diesel yang digunakan pada studi kali ini yaitu mesin diesel

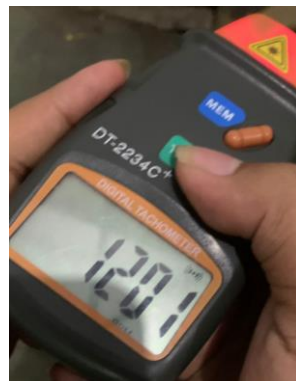
Dongfeng R175 A, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Diesel

Merek (merk):	Dong Feng R175 A
Tipe (type):	1 silinder, 4 langkah
Sistem Pembakaran (Combustion system):	Ruang bakar muka (Precombustion chamber)
Diameter (Bore) x langkah (Stroke)	75 x 80 milimeter
Volume langkah (Displacement):	0,353 liter
Keluaran maksimum (Maximum output):	7 dk
Putaran mesin maksimum (Rated speed):	2600 rpm
Konsumsi bahan bakar (Fuel consumption):	≤ 206 gr/dk.jam
Sistem pendingin (Cooling system):	Penguapan (evaporative)
Berat bersih (net weight):	65 kg

(Sumber Tabel : Katalog Spesifikasi Motor Diesel)

2. Tachometer



Gambar 3.4 Tachometer

Tachometer merupakan alat untuk mengukur putaran dalam satuan menit (rpm). Tujuan *tachometer* digunakan untuk mengukur rpm dari mesin diesel yang akan digunakan.

3. *Flow Meter*

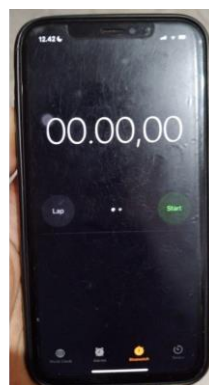
Flow Meter merupakan alat untuk mengukur laju aliran udara atau gas. Satuan dari *Flow Meter* adalah lpm (liter per menit), tujuan alat ini digunakan untuk mengukur kebutuhan analisa gas hidrogen yang mengalir dari tabung ke *intake manifold* mesin diesel.



Gambar 3.5 *Flowmeter*

4. *Stopwatch*

Stopwatch merupakan alat ukur dengan satuan waktu. *Stopwatch* digunakan untuk mengitung lamanya waktu yang digunakan untuk pengujian bahan bakar. Di era digital, *Stopwatch* dapat digunakan dari handphone atau *gadget* lainnya.



Gambar 3.6 *Stopwatch*

5. Burret

Burret merupakan alat ukur satuan volume. Burret pada penelitian kali ini digunakan untuk menghitung volume bahan

bakar yang digunakan.



Gambar 3.7 Burret

6. Meja Lampu Pembebanan

Meja pembebanan merupakan sebuah tempat untuk pembebanan mesin menggunakan lampu. Mesin digunakan untuk memutar generator melalui pulley, lalu generator digunakan untuk menyalakan lampu pembebanan dengan daya yang cukup tinggi. Selain itu di meja pembebanan terdapat monitor daya yang berisi pengukuran arus Listrik, frekuensi dan tegangan.



Gambar 3.8 Meja Pembebanan

7. *Flashback Arrestor*

Flashback Arrestor merupakan alat *safety* atau pengaman. *Flashback Arrestor* berfungsi untuk menahan tekanan balik dari gas yang mengalir agar aliran gas tetap satu arah



Gambar 3.9 *Flashback Arrestor*

8. *Flame Trap*

Flame Trap merupakan alat *safety* yang berfungsi untuk menahan api agar tidak menyebar ke sumber bahan bakar atau ke tabung gas. *Flame Trap* merupakan alat *safety* terpenting dalam penyaluran gas.



Gambar 3.10 *Flame Trap*

3.4.2 Bahan

1. Hidrogen

Hidrogen adalah unsur yang berupa gas dan dapat digunakan sebagai terobosan energi baru terbarukan. Di lain sisi, hidrogen juga dapat dijadikan bahan bakar ramah lingkungan dikarenakan gas hidrogen tidak mengandung karbon atau bebas karbon. Hidrogen dapat dicampurkan pada pembakaran mesin diesel dengan penambahan *dual fuel* pada *intake manifold* mesin diesel.



Gambar 3.11 Hidrogen

2. Dexlite

Dexlite merupakan bahan bakar mesin diesel yang dijual di Indonesia dan umum digunakan untuk kendaraan Masyarakat Indonesia. Angka *Cetane Number* dari dexlite adalah 49,2.

3.5 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang digunakan pada penelitian ini terdapat 3 tahapan agar penelitian ini mendapatkan hasil yang sesuai dengan harapan. Pengujian digunakan di Laboratorium Konversi Energi FT. UNTIRTA.

1. Tahap Persiapan
 - a. Mempersiapkan setiap alat ukur yang ingin digunakan.
 - b. Mengisi bahan bakar dexlite pada gelas ukur.
 - c. Memasang saluran *dual fuel*.
2. Tahap *Safety Control* Sebelum Pengujian
 - a. Memastikan tidak ada kebocoran pada saluran bahan bakar dexlite.
 - b. Memastikan tidak adanya kebocoran pada saluran *dual fuell system*.
 - c. Memastikan tidak adanya selang atau kabel yang terlilit.
 - d. Menyalakan *Exhaust Fan* dan membuka pintu, agar tidak ada gas terjebak dalam ruangan bila mengalami kebocoran.

3. Tahap Pengujian

- a. Menyalakan mesin diesel dan memaskan mesin diesel agar mendapatkan hasil yang sesuai harapan.
- b. Mengatur variabel rpm mesin diesel sesuai yang ingin diteliti.
- c. Memutar valve regulator hidrogen dan flow meter sesuai variabel yang ingin diteliti. (Bila tidak mengukur *dual fuel*, langkah ini dapat dilewati)
- d. Menyalakan lampu pembebanan pada beban 1000 watt (2 buah lampu 500 watt).
- e. Mengukur lamanya waktu dan banyaknya bahan bakar yang digunakan.
- f. Mengulangi dan mencatat setiap pengukuran dari langkah c hingga e.

4. Tahap *Safety Control* Setelah Pengujian

- a. Mentup *valve* regulator tabung hidrogen.
- b. Melepaskan gas hidrogen yang terjebak pada *fire trap*.

BAB IV

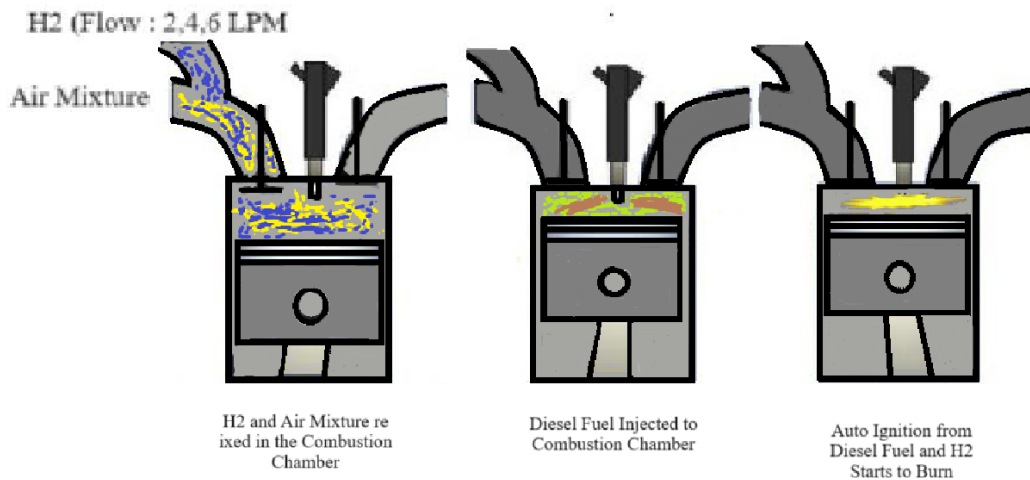
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Dual fuel

Dual fuel merupakan sistem pembakaran mesin yang beroperasi dengan dua bahan bakar yang berbeda. Pada penelitian kali ini menggunakan bahan bakar solar berupa dexlite yang memiliki CN 51 yang dicampur dengan gas hidrogen pada perbandingan kadar konsentrasi tertentu. Perbandingan yang di uji pada penelitian kali ini di tujukan untuk melihat hasil pernedaan antara mesin diesel beroperasi tanpa adanya tambahan hidrogen (0 lpm) dengan ditambakkannya aliran hidrogen ke *intake Manifold* sebesar 2 lpm, 4 lpm, dan 6 lpm.

Prinsip kerja dari *Dual fuel* pada penelitian ini adalah gas hidrogen di masukan pada *intake Manifold* terlebih dahulu sehingga ketika mesin melakukan langkah hisap, hidrogen yang berada pada intake chamber masuk bersamaan dengan udara bebas yang terhisap ke ruang bakar. Pada saat langkah kompresi, bahan bakar dexlite di injeksikan ke ruang bakar ikut dan ikut tercampur dengan hidrogen dan udara bebas. Sehingga ketika kompresi sudah mencukupi untuk melakukan langkah kerja dengan membakar bahan bakar solar (dexlite) dan pada saat bersamaan terbakarnya dexlite bahan bakar hidrogen ikut terbakar membantu proses pembakaraan pada langkah kerja.

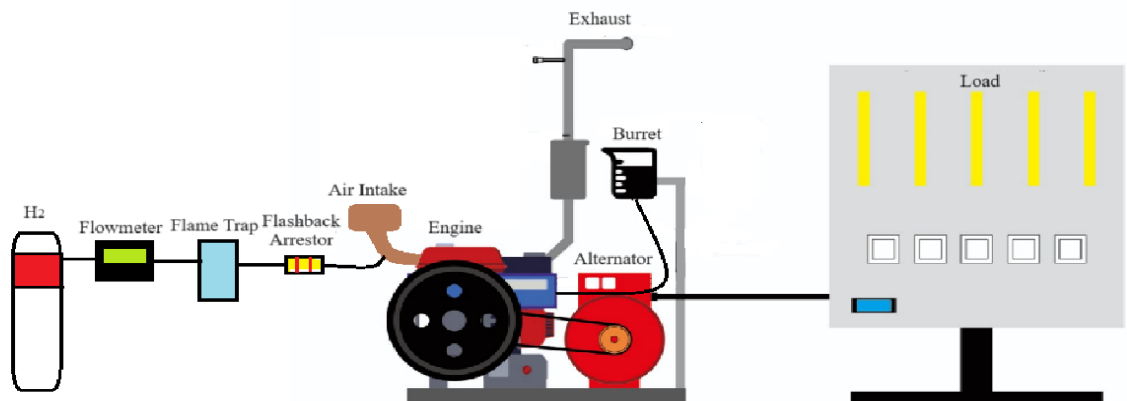
Pada dasarnya, hidrogen tidak akan terbakar terlebih dahulu karena memiliki *Auto Ignition Point* yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar solar. Namun *Flash Point* dari hidrogen jauh lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar yang sehingga sangat cepat terbakar ketika bahan bakar solar sudah terbakar. Percampuran antara hidrogen dan bakan bakar solar yang dapat diatur sesuai kebutuhan kompresi mesin dapat menjadi inovasi untuk *Internal Combustion Engine* (Mesin Pembakaran Dalam) dan solusi untuk masalah pencemaran lingkungan.



Gambar 4.1 Cara Kerja *Dual Fuel*

4.1.1 Keamanan *Dual fuel*

Hidrogen merupakan zat yang mudah terbakar. *Flash Point* dari hidrogen sangat tinggi yang menyebabkan penyebaran pembakaran sangat cepat. Gas hidrogen membutuhkan tabung penyimpanan yang bertekanan tinggi untuk penyimpanan dalam volume yang sangat besar.



Gambar 4.2 Keamanan *Dual Fuel*

Untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja ketika penelitian dibutuhkannya dua pengaman berupa *Flashback Arrestor* dan *Flame Trap*. Prinsip kerja dari *Flashback Arrestor* adalah membuka katup jika ada laju aliran satu arah dan membantu mencegah aliran gas apabila terjadinya

guncangan tekanan atau menahan tekanan balik ketika mesin diesel sedang bekerja. *Flashback Arrestor* ditempatkan paling dekat dengan *Intake Manifold* agar memaksimalkan pengamanan. Sedangkan prinsip kerja dari *Flame Trap* adalah menahan api agar tidak menyebar menuju sumber laju aliran gas. Apabila adanya kecelakaan kerja berupa gas yang terbakar ketika laju aliran sedang kontinu, fungsi *Flame Trap* menahan api tersebut menyebar agar tidak menuju sumber gas. *Flame Trap* menjadi pengaman kedua dan ditempatkan setelah *Flowmeter*.

4.2 Perhitungan

Untuk mencari nilai daya, torsi, SFC, dan Efisiensi Thermal dibutuhkan perhitungan dari nilai hasil pengujian. Dari hasil pengujian 0 lpm, 2 lpm dan 4 lpm terdapat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Dual fuel* 0 LPM

0 lpm					
n mesin (rpm)	n mes aktual (rpm)	n gen (rpm)	V (volt)	I (Ampere)	t SFC (sec)
1200	1245	913	83	2,01	65,38
1400	1430	1049	101	2,25	54,58
1600	1615	1184	146	2,75	46,11
1800	1811	1328	176	3,05	37,49
2000	2012	1475	207	3,34	31,74

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Dual fuel* 2 LPM

2 lpm					
n mesin (rpm)	n mes aktual (rpm)	n gen (rpm)	V (volt)	I (Ampere)	t SFC (sec)
1200	1215	891	89	2,06	72,23
1400	1414	1037	105	2,28	58,37
1600	1610	1181	149	2,79	53,07
1800	1800	1320	181	3,07	42,41
2000	2034	1492	211	3,38	34,6

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Dual fuel* 4 LPM

4 lpm					
n mesin (rpm)	n mes aktual (rpm)	n gen (rpm)	V (volt)	I (Ampere)	t SFC (sec)
1200	1201	881	91	2,08	164,21
1400	1423	1044	109	2,32	123,55
1600	1625	1192	155	2,83	98,08
1800	1823	1337	187	3,11	75,95
2000	2017	1479	214	3,4	63,73

Salah satu yang dapat diambil adalah data dari pengujian *Dual fuel* dengan laju aliran 6 LPM pada 2000 rpm sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Dual fuel* 6 LPM

6 lpm					
n mesin (rpm)	n mes aktual (rpm)	n gen (rpm)	V (volt)	I (Ampere)	t SFC (sec)
1200	1218	893,2	97	2,16	233,05
1400	1417	1039,133333	115	2,38	175,26
1600	1613	1182,866667	159	2,85	135,07
1800	1826	1339,066667	193	3,14	105,31
2000	2010	1474	221	3,45	87,42

- Pehitungan Daya

Pada perhitungan Daya menggunakan rumus yang sudah di jelaskan pada (1) dan menggunakan data pada saat laju aliran hidrogen 6 lpm dan putaran mesin 2000 rpm. Contoh perhitungan Daya sebagai berikut :

$$Ne = \frac{V_1 \times I \times \cos \phi}{\eta_{generator} \times \eta_{tr} \times 1000}$$

$$Ne = \frac{221 \times 3,45 \times 0,99}{0,85 \times 0,537 \times 1000}$$

$$Ne = 1,651 \text{ kW}$$

- $\eta_{generator}$ = Efisiensi generator (0,85)

- η_{tr} = efisiensi transmisi (slip) = $\frac{D.pulley \text{ generator}}{D.pulley \text{ motor}} \times \frac{n.generator}{n.motor}$

$$\frac{11 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} \times \frac{1474}{2010} = 0,5377$$

- Perhitungan Torsi

Pada perhitungan Torsi menggunakan rumus yang sudah di jelaskan pada (2) dan menggunakan data pada saat laju aliran hidrogen 6 lpm dan

putaran mesin 2000 rpm. Contoh perhitungan Torsi sebagai berikut :

$$T = \frac{Ne \times 60 \times 1000}{2\pi \times n.motor}$$

$$T = \frac{1,651 \times 60 \times 1000}{2\pi \times 2010}$$

$$T = 7,85 Nm$$

- Perhitungan SFC

Pada perhitungan SFC menggunakan rumus yang sudah di jelaskan pada (4) dan menggunakan data pada saat laju aliran hidrogen 6 lpm dan putaran mesin 2000 rpm. Contoh perhitungan SFC sebagai berikut :

$$Sfc = \frac{V_f \times \rho_f}{Ne}$$

- SFC Dextrite

Karena *Dua Fuel* menggunakan 2 bahan bakar yaitu hidrogen dan dextrite maka untuk nilai SFC dibutuhkan menghitung masing masing dari bahan bakar. Untuk perhitungan bahan bakar dextrite sebagai berikut :

- Bahan bakar yang terpakai = 15 mL = 0,015 dm³
- $\rho_d = 810 \text{ kg/m}^3$ (Muhammad Syahrir & Sungkono, 2021) = 810 kg/Lt
- Waktu yang digunakan untuk bahan bakar 15 mL = 87,42 detik = 0,0242 Jam

$$V_f = \frac{0,015}{0,0242}$$

$$V_f = 0,6198 \text{ Lt/h}$$

$$Sfc_d = \frac{0,6198 \frac{\text{Lt}}{\text{h}} \times 0,810 \text{ kg/Lt}}{1,651 \text{ kW}}$$

$$Sfc_d = 0,304 \text{ kg/kWh}$$

- SFC Hidrogen

Sedangkan untuk contoh perhitungan bahan bakar hidrogen sebagai berikut :

- Laju aliran hidrogen 6 LPM = 6 Lt/mnt = 360 Lt/h
- $\rho_h = 0,00009 \text{ kg/Lt}$

$$Sfc_h = \frac{360 \frac{\text{Lt}}{\text{h}} \times 0,00009 \text{ kg/Lt}}{1,651 \text{ kW}}$$

$$Sfc_h = 0,0196 \text{ kg/kWh}$$

- SFC *Dual fuel* 6 LPM pada 2000 rpm

Setelah nilai SFC dari bahan bakar dexlite dan hidrogen, kedua nilai SFC dari dua bahan bakar tersebut dapat dijumlahkan untuk menghitung nilai SFC dari *Dual Fuel* seperti sebagai berikut :

$$Sfc = Sfc_d + Sfc_h$$

$$Sfc = 0,3244 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$$

- Efisiensi Thermal *Dual fuel*

Pada perhitungan Efisiensi Thermal menggunakan rumus yang sudah di jelaskan pada (3) dan menggunakan data pada saat laju aliran hidrogen 6 lpm dan putaran mesin 2000 rpm. Contoh perhitungan Efisiensi Thermal sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \left(\frac{Ne}{(\dot{m}_d \times LHV_d) + (\dot{m}_h \times LHV_h)} \right) \times 100 \%$$

Keterangan :

- η_{th} = Efisiensi Thermal (%)
- Ne = Daya Efektif (kW)
- m_d = laju aliran massa dexlite (kg/h)
- m_h = laju aliran massa hidrogen (kg/h)
- LHV_d = *Low Heat Value* dexlite (kJ/kg) = 47054,2 kJ/kg
(Muhammad Syahrir & Sungkono, 2021)

LHV_h = *Low Heat Value* Hidrogen (kJ/kg) = 119810 kJ/kg
(Winangun et al., 2023)

- Mencari \dot{m}_d

$$\dot{m}_d = A_d \times \rho_d \times v_d$$

Keterangan

- A_d = Luas Penampang selang dexlite (m^3)
 $A_d = 78,57 \times 10^{-6} m^3$
- ρ_d = Massa Jenis Dexlite (Kg/m^3)
 $\rho_d = 810 kg/m^3$ (Muhammad Syahrir & Sungkono, 2021)
- v_d = Kecepatan Dexlite (m/s)
- Vol. Dex = 15 ml = $15 \times 10^{-6} m^3$

$$v_d = \left(\frac{Vol. dex}{A_d \times t} \right)$$

$$v_d = \left(\frac{0,000015}{0,00007857 \times 87,42} \right)$$

$$v_d = 0,00218 m/s$$

$$\dot{m}_d = 0,00007857 \times 810 \times 0,00218$$

$$\dot{m}_d = 0,00013874 \frac{kg}{s} = 0,499 \frac{kg}{h}$$

- Mencari \dot{m}_h
 - A_i = Luas Penampang Intake Hidrogen (m^3)
 $A_i = 19,6428 \times 10^{-6} m^3$
 - ρ_h = Massa Jenis Hidrogen (Kg/m^3)
 $\rho_h = 0,09 kg/m^3$
 - Q = debit hidrogen
 $Q = 6 LPM = 0,0001 m^3/s$
 - v_h = kecepatan hidrogen (m/s)

$$v_h = \left(\frac{Q}{A_i} \right)$$

$$v_h = \left(\frac{0,0001}{0,00001964} \right)$$

$$v_h = 5,09 m/s$$

$$\dot{m}_h = A_i \times \rho_h \times v_h$$

$$\dot{m}_h = 0,00001964 \times 0,09 \times 5,09$$

$$\dot{m}_h = 0,00000894 \frac{kg}{s} = 0,0324 \frac{kg}{h}$$

- Efisiensi Thermal *Dual fuel*

$$\eta_{th} = \left(\frac{Ne}{(\dot{m}_d \times LHV_d) + (\dot{m}_h \times LHV_h)} \right) \times 100 \%$$

$$N_e = 1,651 \text{ kW} = 1,651 \text{ kJ/s} = 5943600 \text{ kJ/h}$$

$$\text{LHV}_d = 47054,2 \text{ kJ/kg (Muhammad Syahrir \& Sungkono, 2021)}$$

$$\text{LHV}_h = 119810 \text{ kJ/kg (Winangun et al., 2023)}$$

$$\eta_{th} = \left(\frac{5943600}{(0,499 \times 47054,2) + (0,0324 \times 119810)} \right) \times 100 \%$$

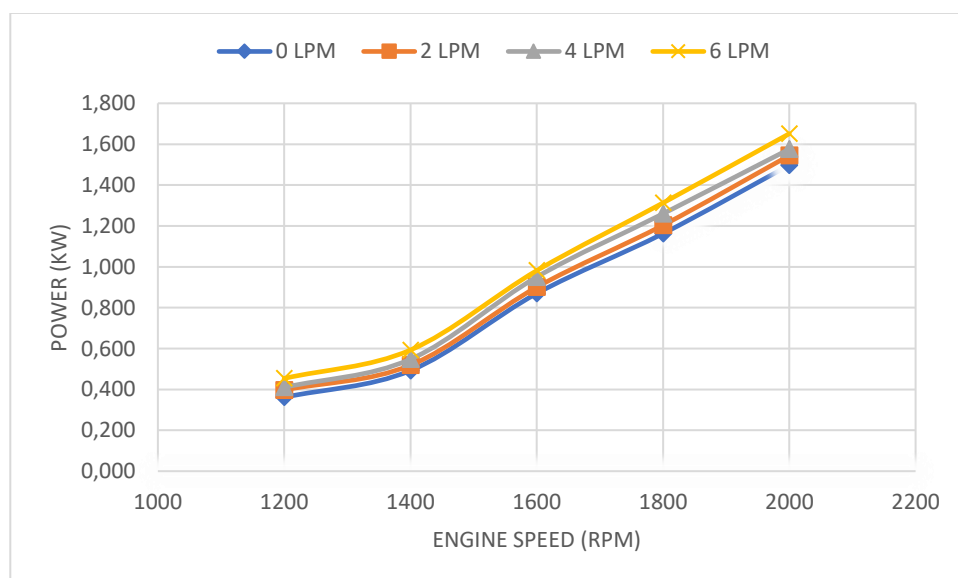
$$\eta_{th} = 21,67\%$$

4.3 Analisa Daya

Daya merupakan kemampuan atau energi yang yang digunakan per satuan waktu. Pada pengujian kali ini, daya dari mesin diesel di salurkan pada dua buah lampu 500 watt atau sama dengan 1000 watt. Dari hasil pengujian didapatkan nilai daya masing masing sebesar.

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Daya

Daya (kW)				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	0,361	0,397	0,410	0,454
1400	0,492	0,518	0,548	0,593
1600	0,870	0,900	0,950	0,981
1800	1,163	1,203	1,260	1,313
2000	1,497	1,545	1,576	1,651



Gambar 4.3 Perbandingan Nilai Daya

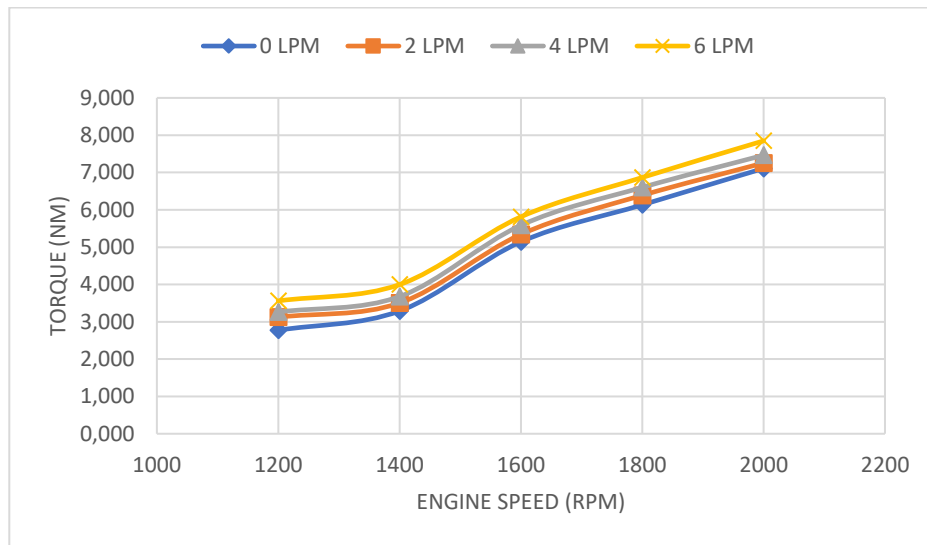
Kenaikan daya berbanding lurus dengan kenaikan putaran mesin. Kenaikan terbesar terjadi pada campuran hidrogen 6 LPM dengan putaran mesin 2000 rpm sebesar 0,154 kW. Massa jenis bahan bakar mempengaruhi kalibrasi mesin dan tenaga karena massa yang terkandung dari massa jenis tersebut berpengaruh terhadap waktu pembakaran dan emisi. Adanya penambahan *Dual fuel* dapat menambahkan daya pada mesin diesel dibandingkan tanpa adanya penambahan hidrogen. Nilai kalor hidrogen lebih tinggi dari nilai kalor dexlite, nilai kalor yang tinggi dapat mengeluarkan energi yang lebih besar berdasarkan massa dari yang terbakar pada pembakaran. (Layton, 2008)

4.4 Analisa Torsi

Torsi atau Momen Gaya adalah kemampuan benda untuk melakukan gerak berotasi. Hasil perhitungan dari pengujian didapatkan nilai torsi masing masing sebesar :

Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Torsi

Torsi (Nm)				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	2,773	3,122	3,261	3,559
1400	3,288	3,503	3,677	3,997
1600	5,144	5,343	5,586	5,813
1800	6,133	6,388	6,601	6,867
2000	7,110	7,255	7,464	7,849



Gambar 4.4 Perbandingan Nilai Torsi

Ketika mesin melakukan langkah kerja terdapat gaya dorong vertikal kebawah yang ditujukan untuk memutar *crankshaft*. Torsi dari *crankshaft* digunakan untuk disalurkan ke roda gigi atau *pulley*. Sama halnya dengan daya, kenaikan putaran mesin berbanding lurus dengan kenaikan torsi. Penambahan hidrogen sebesar 6 LPM pada putaran mesin 2000 rpm dapat meningkatkan torsi sebesar 0,739 Nm. Penambahan hidrogen dapat meningkatkan performa daya dan torsi pada mesin diesel.

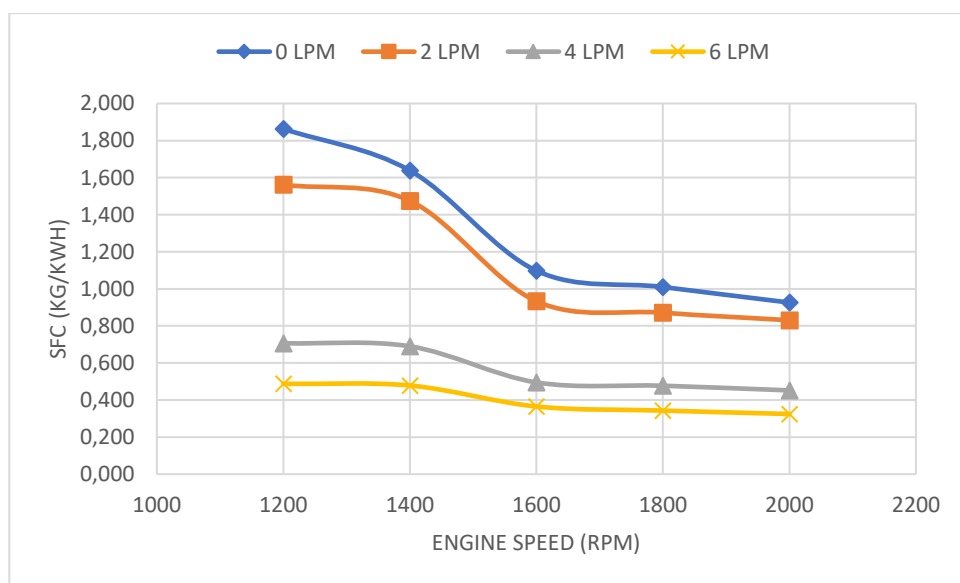
4.5 Analisa SFC

Specific Fuel Consumption didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan (output). Karena terdapat dua bahan bakar yang berbeda atau *Dual fuel* maka perhitungan yang dilakukan adalah menghitung masing masing laju aliran massa berupa laju aliran massa bahan bakar solar (dexlite) dan bahan bakar gas hidrogen.

Dari hasil perhitungan didapatkannya nilai SFC masing - masing sebagai berikut :

Tabel 4.7 Perbandingan Nilai *Specific Fuel Consumption*

SFC (kg/kWh)				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	1,863	1,562	0,706	0,488
1400	1,638	1,475	0,690	0,478
1600	1,098	0,933	0,495	0,365
1800	1,010	0,871	0,477	0,343
2000	0,926	0,830	0,452	0,324

**Gambar 4.5** Perbandingan Nilai *Specific Fuel Consumption*

Dikarenakan hidrogen memiliki massa yang sangat rendah, maka mendapatkan laju aliran massa yang kecil, semakin kecil nilai SFC maka semakin ramah lingkungan dan semakin tinggi efisiensi thermalnya. Pada laju aliran 4 LPM dan 6 LPM, bahan bakar hidrogen dapat terbakar dengan optimal dan menghasilkan nilai SFC yang sangat baik dibandingkan dengan campuran laju aliran hidrogen 2 LPM. Penambahan *Dual fuel* membantu pembakaran lebih optimal pada mesin diesel.

Adapun nilai presentase dextrite yang tergantikan oleh hidrogen dan nilai segi ekonomis dari *Dual Fuel*. Mencari nilai presentase dextrite yang tergantikan adalah dengan menghitung nilai laju aliran massa.

Tabel 4.8 Laju Aliran Massa Dexlite

<i>Flow Mass Dexlite (Kg/H)</i>				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	0,673	0,609	0,268	0,189
1400	0,806	0,754	0,356	0,251
1600	0,954	0,829	0,449	0,326
1800	1,174	1,038	0,579	0,418
2000	1,387	1,272	0,691	0,503

Dan sedangkan untuk presentase dexlite yang tergantikan oleh hidrogen berdasarkan laju aliran massanya sebagai berikut:

Contoh menghitung presentase dexlite yang tergantikan pada laju aliran 6 LPM dan putaran 2000 rpm :

$$\text{Nilai dexlite yang tergantikan} = \left(\frac{\dot{m}_d \text{ 0 LPM} - \dot{m}_d \text{ 6 LPM}}{\dot{m}_d \text{ 0 LPM}} \right) \times 100 \%$$

$$\text{Nilai dexlite yang tergantikan} = \left(\frac{(1,387 - 0,503)}{1,387} \right) \times 100 \%$$

$$\text{Nilai dexlite yang tergantikan} = 63,69 \%$$

Tabel 4.9 Presentase Dexlite Yang Tergantikan oleh Hidrogen

<i>Presentase Massa Dexlite yang Tergantikan (%)</i>				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	0,000	9,484	60,185	71,946
1400	0,000	6,493	55,824	68,858
1600	0,000	13,115	52,987	65,862
1800	0,000	11,601	50,639	64,400
2000	0,000	8,266	50,196	63,693

Untuk menghitung *Dual Fuel* dari segi ekonomis dapat dihitung berdasarkan massa yang terpakai, harga dari masing masing bahan bakar, dan daya yang dihasilkan.

Diketahui :

- Harga Dexlite = Rp. 14.550,-/liter
- Harga Hidrogen = Rp. 250.000,-/m³ = Rp. 250,-/liter
- Densitas Dexlite = 0,810 kg/lt (Muhammad Syahrir &

Sungkono, 2021)

- Densitas Hidrogen = 9×10^{-5} kg/lit

Tabel 4.10 *Flow Mass* Hidrogen

<i>Flow Mass</i> Hidrogen (Kg/H)				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	0,000	0,011	0,022	0,032
1400	0,000	0,011	0,022	0,032
1600	0,000	0,011	0,022	0,032
1800	0,000	0,011	0,022	0,032
2000	0,000	0,011	0,022	0,032

Contoh menghitung nilai ekonomis dextrite (Rp/kWh) pada laju aliran 6 LPM dan putaran 2000 rpm :

$$\text{Nilai ekonomis dextrite} = \left(\frac{(\text{Harga} \times \left(\frac{\dot{m}_d}{\rho d} \right))}{N_e} \right)$$

$$\text{Nilai ekonomis dextrite} = \left(\frac{(\text{Rp. } 14550/\text{liter} \times \left(\frac{(0,503 \text{ kg/H})}{0,810} \right))}{1,651 \text{ kW}} \right)$$

$$\text{Nilai ekonomis dextrite} = \text{Rp. } 5.476, -/\text{kWh}$$

Tabel 4.11 Nilai Ekonomis Dextrite

Harga Dextrite dalam Rp/kWh				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	Rp 33.465,-	Rp.27.563,-	Rp. 11.743,-	Rp. 7.475,-
1400	Rp. 29.429,-	Rp. 26.121,-	Rp. 11.683,-	Rp. 7.609,-
1600	Rp. 19.716,-	Rp. 16.545,-	Rp. 8484,-	Rp. 5.963,-
1800	Rp. 18.137,-	Rp. 15.489,-	Rp. 8263,-	Rp. 5.719,-
2000	Rp. 16.633,-	Rp. 14.792,-	Rp. 7871,-	Rp. 5.476,-

Contoh menghitung nilai ekonomis hidrogen (Rp/kWh) pada laju aliran 6 LPM dan putaran 2000 rpm :

$$\text{Nilai ekonomis hidrogen} = \left(\frac{(\text{Harga} \times \left(\frac{\dot{m}_h}{\rho h} \right))}{N_e} \right)$$

$$\text{Nilai ekonomis hidrogen} = \left(\frac{(\text{Rp. } 250/\text{liter} \times \left(\frac{0,032 \text{ kg/H}}{0,00009} \right))}{1,651 \text{ kW}} \right)$$

$$\text{Nilai ekonomis hidrogen} = \text{Rp. } 54502/\text{kWh}$$

Tabel 4.12 Nilai Ekonomis Hidrogen

Harga hidrogen dalam Rp/kWh				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	0,000	Rp. 75.552,-	Rp. 146.363,-	Rp. 198.336,-
1400	0,000	Rp. 57.860,-	Rp. 109.552,-	Rp. 151.828,-
1600	0,000	Rp. 33.320,-	Rp. 63.156,-	Rp. 91.703,-
1800	0,000	Rp. 24.928,-	Rp. 47.636,-	Rp. 68.571,-
2000	0,000	Rp. 19.422,-	Rp. 38.075,-	Rp. 54.502,-

Setelah menghitung dari laju aliran massa dari dextrin dan hidrogen, didapatkannya harga dual fuel dalam liter/kWh sebagai berikut :

Nilai Ekonomis *Dual Fuel* = Nilai Ekonomis Dextrin + Nilai Ekonomis Hidrogen

Tabel 4.13 Nilai Ekonomis *Dual Fuel*

Harga Dual Fuel dalam Rp/kWh				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	Rp. 33.260,-	Rp. 102.947,-	Rp. 158.035,-	Rp. 205.766,-
1400	Rp. 29.248,-	Rp. 85.255,-	Rp. 121.224,-	Rp. 159.258,-
1600	Rp. 19.595,-	Rp. 60.715,-	Rp. 74.828,-	Rp. 99.133,-
1800	Rp. 18.026,-	Rp. 52.323,-	Rp. 59.307,-	Rp. 76.000,-
2000	Rp. 16.531,-	Rp. 46.817,-	Rp. 49.747,-	Rp. 61.932,-

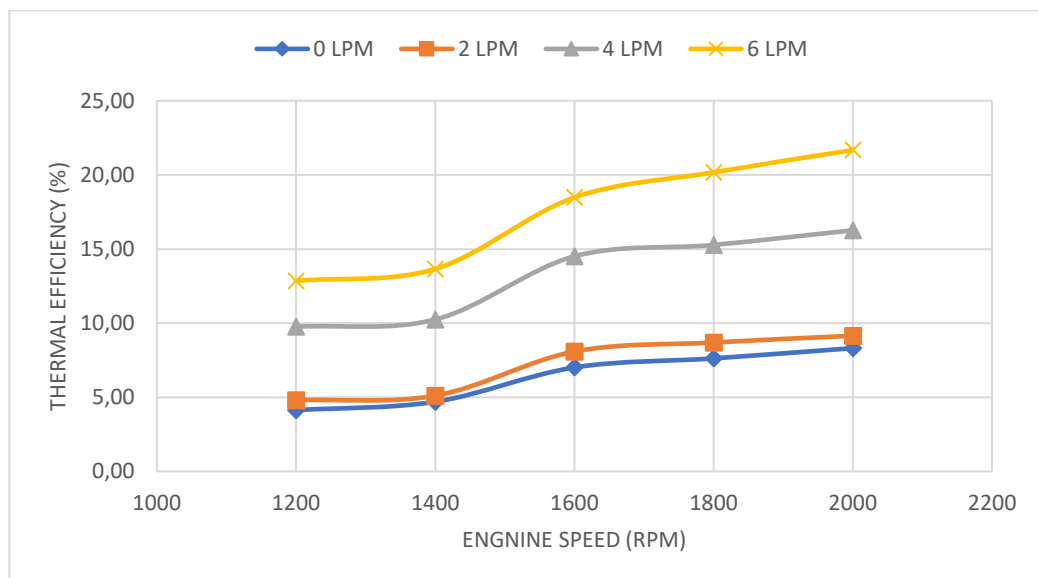
4.6 Analisa Efisiensi Thermal

Efisiensi Thermal adalah rasio perbandingan kalor yang terpakai pada langkah kerja dengan daya yang dihasilkan untuk memutar poros engkol pada mesin dengan panas yang terbuang.

Hasil perhitungan dari pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

Tabel 4.14 Perbandingan Nilai Efisiensi Thermal

Effisiensi Thermal (%)				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	4,13	4,80	9,76	12,85
1400	4,70	5,11	10,24	13,66
1600	7,01	8,09	14,51	18,48
1800	7,62	8,70	15,27	20,17
2000	8,31	9,15	16,26	21,68

**Gambar 4.6** Perbandingan Nilai Efisiensi Thermal

Semakin tinggi efisiensi thermal maka semakin efisien mesin bekerja karena energi yang terpakai untuk di konversikan sebagai daya lebih banyak. Efisiensi termal berbanding terbalik dengan nilai SFC, jika SFC semakin kecil maka efisiensi thermal akan semakin besar. Sama halnya dengan SFC, pada perhitungan efisiensi termal dilakukannya perhitungan dengan laju aliran massa bahan bakar solar (dexlite) dan perhitungan dengan laju aliran massa hidrogen.

Dikarenakan massa hidrogen yang kecil, semakin banyak hidrogen yang terhisap ke ruang bakar dan terbakar sempurna maka semakin besar efisiensi thermalnya. Sifat hidrogen memiliki nilai kalor yang tinggi dapat meningkatkan kinerja dan karakteristik pembakaran mesin diesel. (Hosseini et al., 2023)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari pengujian *Dual fuel* dengan bahan bakar solar (dexlite) dan hidrogen yang disalurkan pada *Intake Manifold* di Mesin Diesel Dong Feng R175 dengan kapasitas mesin 353cc yang diberikan pembebanan pada dua buah lampu 500 watt adalah :

1. *Dual fuel* berpengaruh pada performa daya dan torsi dari mesin diesel. Pengaruh *Dual fuel* dapat meningkatkan performa dari mesin diesel berupa daya dan torsi sebesar 0,154 kW dan 0,739 Nm dibandingkan dengan tanpa adanya penambahan hidrogen. Daya dan torsi terbesar dicapai pada laju aliran hidrogen 6 LPM pada rentang 2000 rpm sebesar 1,651 kW dan 7,85 Nm. Penambahan *Dual Fuel* membantu pembakaran mesin menjadi lebih optimal. Nilai kalor hidrogen yang tinggi dapat mengeluarkan energi yang lebih besar berdasarkan massa dari yang terbakar pada pembakaran, Daya dan Torsi dipengaruhi dari mesin dipengaruhi oleh nilai kalor dari bahan bakar.
2. *Dual fuel* sangat berpengaruh pada nilai SFC dan efisiensi thermal dikarenakan adanya campuran bahan bakar hidrogen yang memiliki massa sangat kecil dan nilai kalor yang lebih besar dibandingkan dengan dexlite. Untuk menghitung nilai SFC dan efisiensi termal menggunakan laju aliran massa sehingga terjadi kenaikan yang begitu pesat. Kenaikan yang signifikan terjadi saat laju aliran hidrogen sebesar 4 LPM dan 6 LPM karena pada dua laju aliran tersebut hidrogen dapat dengan optimal bekerja dibandingkan dengan 0 LPM dan 2 LPM. Nilai SFC dan efisiensi thermal terbaik ada pada laju aliran 6 LPM dan putaran mesin 2000 rpm yaitu untuk SFC sebesar 0,324 kg/kWh dan efisiensi thermal 21,68 %. Perbedaan nilai SFC dan efisiensi termal antara laju aliran hidrogen 0 LPM dan 6 LPM

pada 2000 rpm adalah nilai SFC menurun 0,602 Kg/kWh dan nilai efisiensi termal menaik 13,37%. Semakin kecil nilai SFC maka semakin besar nilai efisiensi termal dan hasil tersebut menunjukkan mesin bekerja dengan optimal.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan agar penelitian *dual fuel* dapat lebih baik dan menjadi inovasi dalam perkembangan teknologi, yaitu:

1. Dilakukannya pengujian emisi gas buang agar dapat mengetahui pengaruh dari *dual fuel* (diesel-hidrogen) pada mesin Dong Feng R175.
2. Penambahan *relay* dan *injector* serta *crank angle sensor* agar dapat mengatur hidrogen di injeksikan pada beberapa saat sebelum sudut Titik Mati Atas agar menjadi variabel baru untuk pengujian berikutnya.
3. Penggunaan mesin diesel maupun mesin bensin lainnya agar mengetahui perbandingan antara penambahan hidrogen dan tanpa adanya hidrogen guna menjadi inovasi dan meningkatkan perkembangan dunia teknologi permesinan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandra, W. (1983). *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Institut Teknologi Bandung.
- Ghosh, B. (2024). Chapter 6.1 - Potential of hydrogen in powering mobility and grid sectors. In D. Jaiswal-Nagar, V. Dixit, & S. Devasahayam (Eds.), *Towards Hydrogen Infrastructure* (pp. 349–376). Elsevier.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95553-9.00063-7>
- Hosseini, S. H., Tsolakis, A., Alagumalai, A., Mahian, O., Lam, S. S., Pan, J., Peng, W., Tabatabaei, M., & Aghbashlo, M. (2023). Use of hydrogen in dual-fuel diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, *98*, 101100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pecs.2023.101100>
- Kalamajaya, M. F. (2016). PERBEDAAN KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN KEPEKATAN GAS BUANG MESIN DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR DAN CAMPURAN SOLAR DENGAN MINYAK CENGKEH. *Universitas Negeri Semarang*.
- Koten, H. (2018). Hydrogen effects on the diesel engine performance and emissions. *International Journal of Hydrogen Energy*, *43*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.146>
- Layton, B. (2008). A Comparison of Energy Densities of Prevalent Energy Sources in Units of Joules Per Cubic Meter. *International Journal of Green Energy*, *5*, 438–455.
<https://doi.org/10.1080/15435070802498036>
- Maymuchar, & Wibowo, C. S. (2011). Pengaruh Mutu Bahan Bakar Minyak Solar 48 dan 51 terhadap Pembentukan Emisi Partikulat pada Kendaraan Bermotor. *Jurnal Lemigas*, *45*(No.3).
- Miyamoto, T., Hasegawa, H., Mikami, M., Kojima, N., Kabashima, H., & Urata, Y. (2011). Effect of hydrogen addition to intake gas on combustion and exhaust emission characteristics of a diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, *36*(20), 13138–13149.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.06.144>
- Monasari, Firdaus, A., & Qosim, N. (2021). Pengaruh Penambahan Zat Aditif Pada Campuran Bahan Bakar Bensin – Bioethanol Terhadap Specific Fuel Consumption. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, *9*, 1–10.

Muhammad Syahrir, & Sungkono. (2021). Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Biodisel (B30) Dan Dexlite terhadap Kinerja Mesin Diesel. *Jurusan Teknik Mesin Universitas Muslim Indonesia*, 22.

Tsujimura, T., & Suzuki, Y. (2017). The utilization of hydrogen in hydrogen/diesel dual fuel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.152>

Winangun, K., Setiyawan, A., Sudarmanta, B., Buntoro, G. A., Pangestu, R. E., Nurgito, A., & Prasetyo, T. (2023). *Penggunaan bahan bakar terbarukan (biodiesel-hidrogen) pada mesin diesel dual fuel untuk mendukung energy transition di Indonesia*. <https://doi.org/10.24127/trb.v12i1.2532>

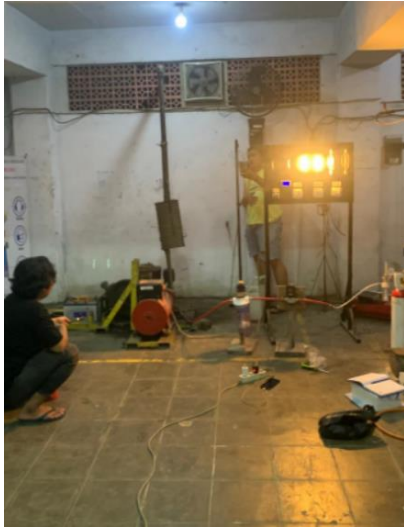
Yadav, V. S., Soni, S. L., & Sharma, D. (2014). Engine performance of optimized hydrogen-fueled direct injection engine. *Energy*, 65, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.007>

Yilmaz, I. T., & Gumus, M. (2018). Effects of hydrogen addition to the intake air on performance and emissions of common rail diesel engine. *Energy*, 142, 1104–1113. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.018>

LAMPIRAN

-Dokumentasi Penelitian





Cek plagiarisme TA_Rayhan Moraliswa

by Perpustakaan Mesin

Submission date: 11-Jun-2024 12:59PM (UTC+0700)

Submission ID: 2400055083

File name: ambahan_Dual_Fuel_Diesel-Hidrogen_pada_Performa_Mesin_Diesel.pdf (1.09M)

Word count: 7242

Character count: 39659

**Analisa Pengaruh Penambahan *Dual Fuel* (Diesel-
Hidrogen) pada Performa Mesin Diesel**

TUGAS AKHIR

**Untuk memenuhi Sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada
Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun oleh

**Reyhan Moraliwa Arif
3331180036**

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, serta karunia-Nya yang senantiasa melimpahkan berkah dalam setiap langkah perjalanan penulisan tugas akhir ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN DUAL FUEL (DIESEL-HIDROGEN) PADA PERFORMA MESIN DIESEL”. Tugas akhir ini ditulis dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Selama menyelesaikan studi dan menyusun tugas akhir ini, penulis telah mendapat banyak bantuan dalam bentuk pengajaran, bimbingan, serta arahan dari berbagai sumber, baik secara langsung maupun tidak langsung. Maka dari itu, penulis ingin menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya dan terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara kandung yang selalu memberikan doa dan dukungan untuk memenuhi segala kebutuhan penulis.
2. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng., selaku ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Dr. Eng. Agung Sudrajad, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I atas segala bentuk pengajaran, bimbingan, serta arahan dari berbagai sumber, baik secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis.
4. Bapak Dr. Kuntang Winangun, S.Pd., M.Pd. selaku Dosen Pembimbing II atas segala bentuk pengajaran, bimbingan, serta arahan dari berbagai sumber, baik secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis.
5. Ibu Miftahul Jannah S.T., M.T., selaku Dosen koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

6. Seluruh Dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan segala bentuk ilmu dan bimbingan selama masa perkuliahan.
7. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Angkatan 2018 beserta keluarga besar HMM FT. UNTIRTS yang telah memberikan semangat, serta dukungan selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, serta masih memiliki kekurangan-kekurangan karena adanya keterbatasan penulis dalam hal kemampuan, pengetahuan, dan pengalaman. Oleh karena itu, penulis memohon maaf dan mengharapkan masukan dan saran yang membangun agar karya tulis selanjutnya dapat ditingkatkan. Semoga tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi para pembacanya.

Cilegon, Juni 2024

Penulis

ABSTRAK

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi motor bakar yang salah satunya motor bakar diesel yang mempunyai potensi untuk dikembangkan. Penggunaan motor diesel dapat diklaim lebih hemat dan efisien 25% dibandingkan motor bakar bensin (Kalamajaya, 2016). Namun dari penggunaan bahan bakar yang digunakan motor bakar diesel menyebabkan polusi yang melebihi motor bakar bensin. Bahan bakar yang umum digunakan pada kendaraan di Indonesia menggunakan dan dexlite yang merupakan bahan bakar dengan angka setana yang rendah sehingga menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna.

Hidrogen dapat dijadikan sebagai terobosan untuk menurunkan emisi gas buang yang dihasilkan dari kendaraan bermotor. Hal tersebut dikarenakan hidrogen adalah bahan bakar bebas karbon, sehingga reaksi pembakaran yang terjadi tidak akan menghasilkan asap atau emisi gas buang. Mengingat kendaraan bermotor dengan bahan bakar hidrogen sulit diterapkan dan sedang dikembangkan, penerapan sistem *dual fuel* untuk membantu menurunkan emisi gas buang dari kendaraan bermotor layak untuk di uji coba dan dikembangkan lebih lanjut.

Teknologi dalam pengembangan untuk meningkatkan efisiensi dan performa dari *Combustion Engine* sudah diterapkan. Ada 3 macam teknologi penurunan emisi gas buang. Berbagai macam cara dilakukan untuk menurunkan emisi dari mulai sebelum pembakaran (*Before Combustion*) dengan cara pencampuran bahan bakar, proses pembakaran (*Combustion Process*) dengan mengaplikasikan *Dual Injector* demi meningkatkan performa dan efisiensi dari mesin diesel sebagai contohnya, dan setelah pembakaran (*After Combustion*) dengan membersihkan gas buang dari motor bakar.

Teknologi *dual fuel* merupakan pengembangan teknologi dengan dua bahan bakar dengan tujuan memaksimalkan proses pembakaran.

Meningkatkan efisiensi dengan *dual fuel* merupakan teknologi peningkatan efisiensi dengan metode sebelum proses pembakaran (*Before Combustion*). Penambahan hidrogen pada mesin diesel 1461cc *Turbocharged* membuktikan performa yang lebih baik dibandingkan tanpa penambahan hidrogen. (Yilmaz & Gumus, 2018)

Penerapan *dual fuel* pada mesin diesel salah satunya adalah penambahan hidrogen pada *intake manifold* mesin diesel. Dengan pengaturan laju aliran gas hidrogen yang tercampur dengan udara bebas pada *intake manifold* mesin diesel dapat membantu reaksi pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel guna meningkatkan efisiensi dari mesin diesel.

Teknologi pengembangan bahan bakar hidrogen sedang maraknya di uji coba oleh pabrikan otomotif ataupun akademisi guna meningkatkan kualitas udara sekitar. Salah satu hasil dari uji coba dengan penambahan bahan bakar hidrogen adalah penurunan kadar CO₂ dan asap menurun karena penurunan kadar karbon dari pembakaran yang lebih baik menggunakan *dual fuel system*. *Dual fuel* dengan hidrogen memiliki keuntungan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar diesel, meningkatkan efisiensi termal mesin, menurunkan emisi gas buang CO dan THC. (Koten, 2018)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh penambahan hidrogen pada mesin diesel terhadap performa yang meliputi daya, torsi, efisiensi thermal dan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik (Sfc).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini diantaranya yaitu :

1. Mengetahui nilai dan perbandingan besarnya daya dan torsi dengan penambahan *Dual fuel* (diesel-hidrogen) dan tanpa penambahan *Dual fuel* pada mesin diesel.
2. Mengetahui nilai dan perbandingan efisiensi thermal dan pemakaian

bahan bakar spesifik (Sfc) dengan *Dual fuel* (diesel-hidrogen) dan tanpa penambahan *Dual fuel* pada mesin diesel.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan terdapat 2 hal yaitu

1. Mengetahui pengaruh efisiensi thermal dan besarnya pemakaian bahan bakar (Sfc) dari mesin diesel dengan adanya penambahan *Dual fuel* (diesel-hidrogen).
2. Mengetahui pengaruh daya dan torsi dari mesin diesel dengan adanya penambahan *Dual fuel* (diesel-hidrogen).
3. Memberikan kontribusi ilmu pengetahuan dalam pengembangan *Dual fuel* (diesel-hidrogen pada mesin diesel).

1.5 Batasan Masalah

Dengan luasnya cakupan ilmu pada penelitian kali ini, maka diperlukannya beberapa batasan yang digunakan pada penelitian dan penulisan dalam tugas akhir kali ini, yaitu :

1. Penelitian ini terfokus pada pengaruh penambahan hidrogen pada saluran *intake manifold*.
2. Hasil yang dicapai yaitu adanya perubahan performa yang meliputi daya, torsi, efisiensi thermal dan besar pemakaian bahan bakar spesifik (Sfc) dengan penambahan hidrogen pada saluran *intake manifold*.
3. Pengujian emisi gas buang hanya menggunakan mesin diesel jenis Dong Feng R175A yang berada di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin FT.Untirta.
4. Jenis bahan bakar yang digunakan pada saat pengujian adalah bahan bakar dexlite.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of The Art*

Dalam penulisan laporan ini, penulis menggunakan beberapa referensi dari berbagai penelitian sebelumnya seperti skripsi dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian kali ini. (Yilmaz & Gumus, 2018) melakukan penelitian dengan menambahkan gas hidrogen sebesar 20 lpm dan 40 lpm pada saluran *intake* mesin diesel dengan spesifikasi daya sebesar 48 kW, berkapasitas mesin 1461 cm³, 4 silinder dengan sistem *turbocharged* dan *commonrail rail fuel system*. Hasil yang diperoleh dengan melakukan pembebanan 50 Nm, 75 Nm, dan 100 Nm berdampak positif baik untuk emisi maupun performa. Pada campuran bahan bakar diesel dan hidrogen sebesar 40lpm mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa adanya campuran hidrogen.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh (Miyamoto et al., 2011) melakukan penambahan hidrogen pada saluran *intake* pada mesin diesel. Penambahan hidrogen pada saluran *intake* pada mesin diesel disebut juga sebagai *dual fuel* karena terdapat dua bahan bakar, yaitu bahan bakar minyak dan hidrogen. Penelitian yang dilakukan menggunakan mesin diesel dengan sistem *commonrail* pada putaran konstan 1500 rpm. Tekanan hidrogen dijaga 400 kPa pada ujung *valve* menggunakan tekanan pengontrol. Dengan penambahan volume udara sebesar 3,9% dari volume udara yang masuk ke ruang bakar, emisi gas buang yang di hasilkan menurun sebesar 50%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Yadav et al., 2014) menggunakan mesin diesel 1 silinder dengan spesifikasi daya sebesar 4,4 kW pada putaran 1500 rpm yang diberi pembebanan generator. Dengan menambahkan gas hidrogen sebesar 80 g/hr, 120 g/hr, dan 150 g/hr. Hasil yang didapatkan dengan menambahkan 120 g/hr pada saluran *intake* mesin diesel didapatkan pembakaran yang paling optimal diantara variable lainnya. Pembakaran yang optimal didapatkan nilai emisi yang rendah.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh (Gnanamoorthi & Vimalananth, 2020) melakukan uji coba dengan mencampurkan hidrogen dan udara bebas

sebelum masuk ruang bakar. Dengan menggunakan 6 variabel berbeda pada laju aliran hidrogen dari 6 lpm sampai dengan 36 lpm, hasil yang diperoleh adalah pada saat laju aliran hidrogen 30 lpm penurunan emisi CO, CO₂, HC, dan asap menurun sebesar 22,3%, 14%, 32,74%, dan 43,86% dibandingkan tanpa adanya pencampuran hidrogen. Penelitian ini mengacu pada referensi sebelumnya dengan penambahan hidrogen dengan laju aliran sebesar 2 lpm – 9 lpm. Hasil terbaik yang didapatkan pada referensi tersebut pada laju aliran hidrogen sebesar 7,5 lpm, penurunan CO dan HC sebesar 25 – 45%.

2.2 Mesin Diesel

Mesin diesel disebut juga mesin dengan penyalaan kompresi, karena cara membakar bahan bakarnya dengan menyemprotkan bahan bakar oleh *injector* ke dalam ruang bakar yang telah bertekanan dan bertemperatur tinggi akibat langkah kompresi piston yang menekan udara murni. Mesin diesel termasuk jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion*). Pemakaian mesin diesel lebih hemat bahan bakar sekitar 25% dibandingkan dengan mesin bensin (Kalamajaya, 2016). Mesin diesel memiliki tingkat efisiensi termal yang lebih tinggi dari mesin bensin, namun memiliki kekurangannya yaitu mengeluarkan emisi partikulat 100 kali lebih banyak dari mesin bensin. (Maymuchar & Wibowo, 2011)

2.3 Daya

Daya merupakan salah satu bentuk energi. Daya yang disalurkan dari mesin diesel menuju generator merupakan salah satu bentuk penyaluran energi. Terdapat daya input dan daya output dari perpindahan daya dari mesin diesel menuju generator. Untuk menghitung daya yang disalurkan dapat menggunakan perhitungan Daya efektif pada generator (N_e).

Untuk perhitungan Daya Efektif (N_e) pada motor diesel.

$$N_e = \frac{V_1 \times I \times \cos \phi}{\eta_{generator} \times \eta_{tr} \times 1000} \quad (1)$$

Dimana :

- V = Tegangan Listrik (Volt)
- N_e = Daya Efektif (kW)

- I = Kuat Arus (Ampere)
- $\cos \phi$ = Faktor Daya Listrik (0,99)
- $\eta_{generator}$ = efisiensi generator (0,85)
- η_{tr} = efisiensi transmisi (slip) =

$$\frac{D.pulley\ generator}{D.pulley\ motor} \times \frac{n.generator}{n.motor}$$

2.4 Torsi

Torsi atau bisa disebut juga momen gaya adalah suatu besaran yang menyatakan besarnya sebuah gaya yang membuat sebuah benda bergerak berotasi. Besaran satuan dari torsi atau momen gaya adalah Newton meter (Nm). Torsi pada mesin diesel terdapat pada *crankshaft* yang berputar akibat dari gaya ledakan dari mesin yang bekerja. Pada mesin Dong Feng R175, *crankshaft* satu poros dengan pulley yang menggerakkan generator. Maka dari itu untuk menghitung nilai Torsi nya sebagai berikut :

$$T = \frac{Ne \times 60 \times 1000}{2\pi \times n.motor} \quad (2)$$

Dimana :

- Ne = Daya Efektif (kW)
- T = Torsi (Nm)
- n = Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)

2.5 Efisiensi Thermal

Ketika mesin kalor bekerja akan menghasilkan energi panas. Mesin kalor sering kali beroperasi dengan efisiensi sekitar 30% hingga 50%, karena keterbatasan praktis. Tidak mungkin mesin kalor mencapai efisiensi termal 100% menurut hukum Kedua termodinamika. Hal ini tidak mungkin karena sebagian panas terbuang selalu dihasilkan dalam mesin kalor . Panas adalah ukuran efisiensi bahan bakar mesin yang menggunakan pembakaran internal, dan efisiensi termal. Efisiensi termal pada mesin diesel adalah rasio daya yang tersedia di poros engkol dibandingkan daya yang dihasilkan di dalam silinder dan laju energi panas dari bahan bakar yang dikonsumsi. (Ghosh, 2024)

Persamaan Efisiensi Thermal :

$$\eta_{th} = \left(\frac{Ne}{f_c \times Lhv} \right) \times 100 \% \quad (3)$$

Dimana :

- η_{th} = Efisiensi Thermal (%)
- Ne = Daya Efektif (kW)
- f_c = Konsumsi bahan bakar (kg/h)
- Lhv = *Low heat value* (kWh/kg)

2.6 *Specific Fuel Consumption*

Specific Fuel Consumption (SFC) merupakan parameter yang biasa digunakan pada motor pembakaran dalam untuk menggambarkan pemakaian bahan bakar. *Specific Fuel Consumption* didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan (output). Dapat pula dikatakan bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin untuk dijadikan daya output. Satuan dalam Sistem Internasional (SI) adalah kg/kWh. SFC disebut *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) apabila menggunakan *Brake Horse Power*, dan jika menggunakan *indicated Power* maka disebut *Indicated Specific Fuel Consumption* (ISFC). Nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu, nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu, nilai SFC yang rendah sangat diinginkan untuk mencapai efisiensi bahan bakar. *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) juga merupakan suatu parameter yang tepat untuk mengukur efisiensi termal dan juga untuk membandingkan kinerja mesin (Monasari et al., 2021)

Persamaan rumus Sfc :

$$Sfc = \frac{V_f \times \rho_f}{Ne} \quad (4)$$

Dimana :

- Sfc = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)
- Ne = Daya efektif (kW)

- ρ_f = Densitas 15°C pada sampel minyak (kg/dm³)
- $V_f = \frac{Vol}{Waktu} = \text{Vol. bahan bakar per waktu yang di gunakan (dm}^3/\text{h)}$

2.7 Bahan Bakar Hidrogen

Hidrogen merupakan unsur penting bagi energi baru terbarukan. Hidrogen bisa didapatkan dengan cara elektrolisis, konversi gas alam, gasifikasi batu bara dan banyak lainnya. Keunggulan dari hidrogen sebagai bahan bakar adalah sangat rendah emisi, tinggi efisiensi, waktu pembakaran yang cepat, ketersediaan jangka panjang dan nilai kalor yang tinggi. Pembakaran hidrogen dilakukan bersamaan dengan oksigen murni hanya akan menghasilkan H₂O tanpa adanya CO₂.

Sistem pembakaran hidrogen tidak akan menghasilkan hujan asam, menipisnya lapisan ozon ataupun pencemaran lingkungan. Untuk mencapai rendah emisi gas buang dan performa yang baik dibutuhkan pencampuran hidrogen dengan bahan bakar diesel. (Yilmaz & Gumus, 2018). Hidrogen merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang paling menjanjikan, mengingat hidrogen adalah bahan bakar bebas karbon sehingga mesin yang menggunakan bahan bakar utamanya adalah hidrogen tidak menghasilkan asap maupun CO₂. (Miyamoto et al., 2011)

Penerapan mesin berbahan bakar hidrogen sendiri sudah diterapkan, namun belum dijual massal mengingat masih dalam pengembangan untuk dijadikan kendaraan operasional sehari-hari. Dikarenakan hidrogen adalah bahan bakar bebas karbon, maka reaksi pembakaran yang dihasilkan bebas dari emisi gas buang yang dapat mencemari lingkungan. Dengan penambahan gas hidrogen dalam jumlah sedikit guna untuk membantu pembakaran mesin diesel dapat menurunkan emisi gas buang dari mesin diesel. Penambahan hidrogen pada mesin diesel dapat dijadikan inspirasi untuk menjadikan mesin diesel mengadopsi *dual fuel* guna mengurangi emisi gas buang dari mesin diesel.

Adapun penelitian yang mencampurkan bahan bakar biodiesel kelapa sawit dengan penambahan hidrogen didapatkan peningkatan terjadi pada efisiensi termal dengan aliran hidrogen maksimal 10 lpm sebesar 29.85%. Selain itu terjadi peningkatan daya sebesar 0.78% pada aliran hidrogen 7.5lpm

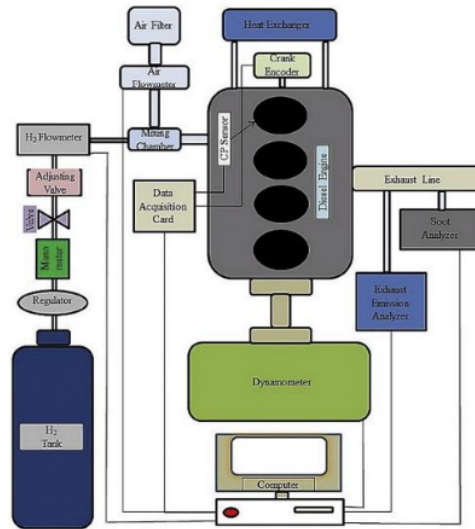
dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel. (Winangun et al., 2023)

2.8 Teknologi Peningkatan Efisiensi Mesin

Teknologi dalam pengembangan untuk menurunkan emisi gas buang dari *Combustion Engine* sudah diterapkan. Ada 3 macam teknologi peningkatan efisiensi. Berbagai macam cara dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari mulai sebelum pembakaran (*Before Combustion*) dengan cara pencampuran bahan bakar, proses pembakaran (*Combustion Process*) dengan mengaplikasikan *Dual Injector* demi menurunkan emisi sebagai contohnya, dan setelah pembakaran (*After Combustion*) dengan memanfaatkan gas buang untuk memutar propeller pada komponen *turbocharge*.

Teknologi yang sedang di uji coba adalah penambahan hidrogen pada saluran masuk udara. Teknologi ini menggunakan metode sebelum pembakaran (*Before Combustion*). Penambahan hidrogen bertujuan agar menyempurnakan reaksi pembakaran sehingga menghasilkan peningkatan efisiensi.

Salah satu teknologi *Before Combustion* adalah *Dual fuel*. *Dual fuel* adalah salah satu metode pembakaran *Internal Combustion* yang menggunakan dua bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dexlite dan hidrogen. Dengan mencampurkan hidrogen dengan udara bebas dapat membantu bahan bakar utama sebagai tambahan untuk proses pembakaran pada mesin diesel.



Gambar 2.1 *Dual fuel*

(Sumber : I.T Yilmaz & M. Gumuz, 2018)

2.9 Proses Pembakaran *Dual fuel*

Mesin diesel 4 langkah memiliki 4 tahapan dalam proses pembakaran, Langkah tersebut berupa proses piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah) dan sebaliknya. Udara masuk ke dalam ruang bakar dan beberapa derajat sebelum mencapai TMA bahan bakar mulai disemprotkan. Bahan bakar akan segera menguap dan bercampur dengan udara yang sudah bertemperatur tinggi sehingga terjadinya pembakaran pada Langkah kerja. (Arismunandra, 1983)

Dual fuel memanfaatkan hidrogen sebagai bahan bakar tambahan untuk memaksimalkan proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar. Hidrogen ikut terhisap pada saat Langkah Hisap melalui saluran *intake manifold* menuju ruang bakar bersamaan dengan udara yang terhisap.

Pada saat Langkah Kerja udara dan bahan bakar yang sudah terkompresi terlebih dahulu yang terbakar. Hal tersebut dikarenakan *auto ignition temperature* dari bahan bakar diesel lebih rendah dibandingkan hidrogen.

Setelah terbakarnya campuran udara dan bahan bakar, disaat yang bersamaan hidrogen ikut terbakar.



Gambar 2.3 Pembakaran *Dual fuel*

(Sumber : (Tsumimura & Suzuki, 2017))

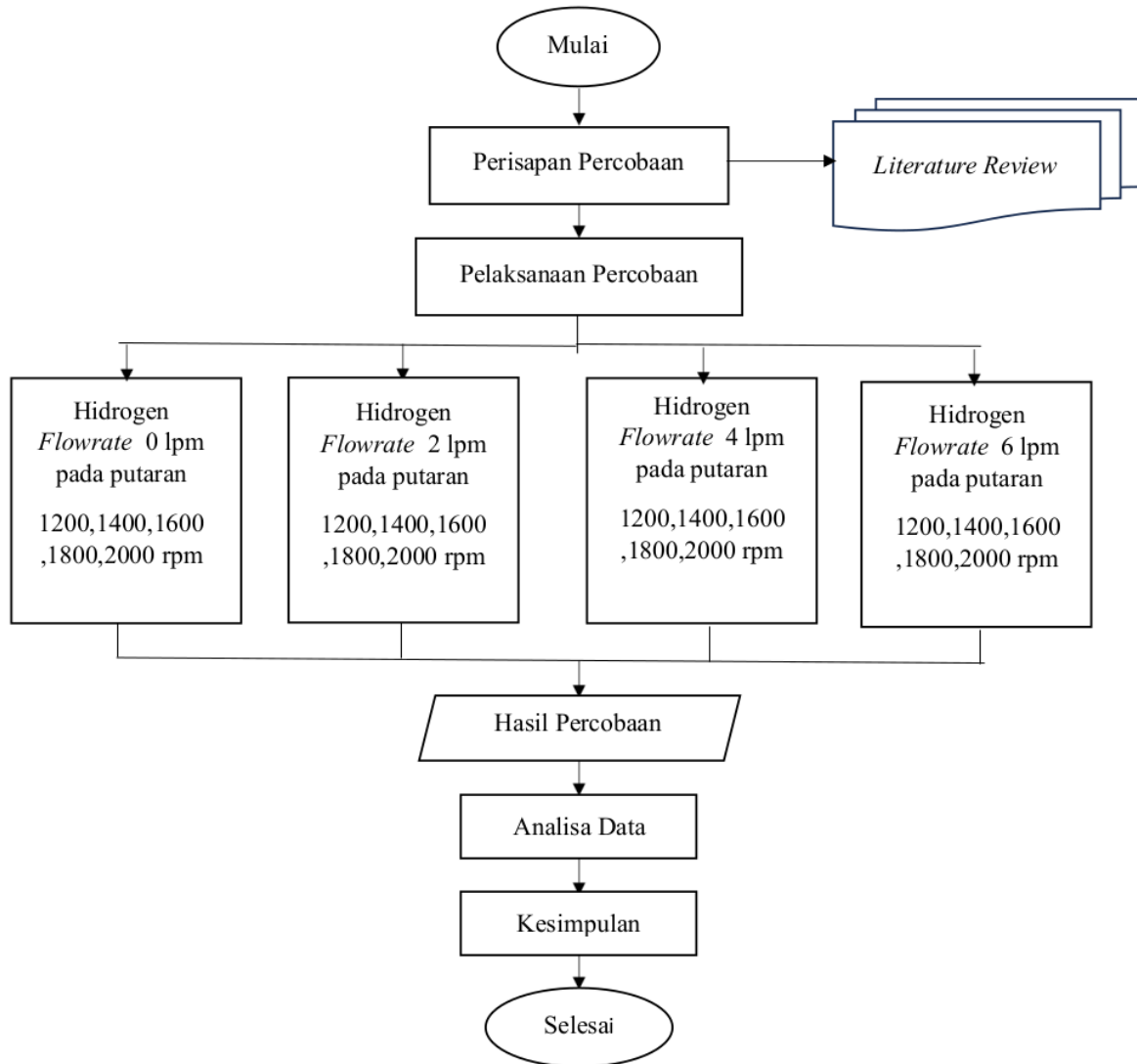
Sisa pembakaran berupa CO dan HC merupakan hasil pembakaran tidak sempurna yang masih dapat terbakar. Dengan adanya hidrogen terbakar setelah bahan bakar dan udara terbakar, CO dan HC terbakar bersamaan dengan hidrogen sehingga menghasilkan CO₂ dan air. Proses tersebut dapat menurunkan emisi gas buang dari CO dan HC serta meningkatkan performa dan efisiensi dari mesin diesel.

Adanya perbedaan nilai AFR (*Air Fuel Ratio*) antara bahan bakar diesel dengan bahan bakar hydrogen, dimana bahan bakar hidrogen memiliki nilai AFR sebesar 34,3 menyebabkan adanya penurunan emisi dari reaksi pembakaran *dual fuel*. Pada pengujian menggunakan campuran Biodiesel dengan nilai AFR 12.5 dapat ditunjukkan penurunan emisi berdasarkan banyaknya komposisi bahan bakar hidrogen yang terbakar dalam ruang bakar. HES (*Hydrogen Energy Share*) merupakan seberapa banyak H₂ yang berkontribusi pada bahan bakar diesel. Pada laju aliran 2.5 lpm, 5 lpm, 7.5 lpm, 10 lpm didapatkan nilai HES sebesar 3.11%, 7.57%, 10.4% dan 17.21%. Semakin tinggi aliran hidrogen, bahan bakar biodiesel yang diinjeksikan keruang bakar akan semakin berkurang. (Winangun et al., 2023)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir yang terdapat pada penelitian kali ini yaitu:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengujian

3.2 Metode Penelitian

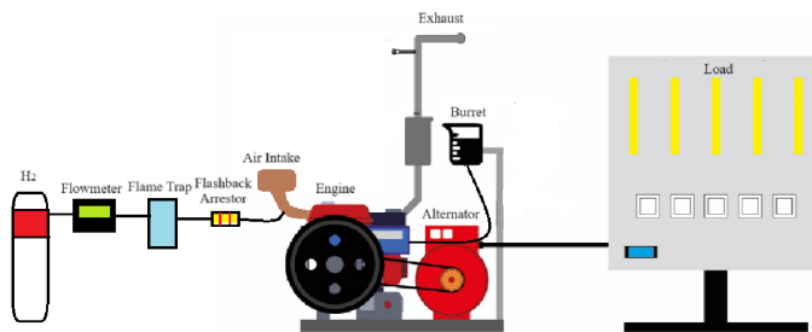
Pada penelitian kali ini berfokus kepada analisa efek dari penambahan hidrogen pada *intake manifold* mesin diesel terhadap emisi gas buang. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis hasil eksperimen dan pengamatan dari hasil gas buang mesin diesel yang sudah ditambahkan gas hidrogen pada *intake manifold*. Teknologi yang digunakan guna menurunkan emisi gas buang adalah teknologi *Before Combustion* (Sebelum Pembakaran). Teknologi tersebut berupa *dual fuel*, yaitu terdapat dua asupan bahan bakar diantaranya adalah bahan bakar diesel (dexlite) dan hidrogen.

Percobaan ini dilakukan dengan menambahkan gas hidrogen dari tabung melalui *flow meter* lalu masuk ke *intake manifold* mesin diesel. Setelah reaksi reaksi pembakaran yang terjadi, menghitung nilai daya, torsi, bahan bakar spesifik dan efisiensi termal pada mesin. Penambahan hidrogen dilakukan dengan beberapa variabel, dengan tujuan mendapatkan perbedaan dengan penambahan gas hidrogen dengan 2 lpm, 4 lpm, 6 lpm dan tanpa penambahan gas hidrogen (0 lpm) pada setiap rpm-nya. Variabel tersebut berdasarkan laju aliran gas hidrogen yang melalui *flow meter*, diantaranya 0 lpm, 2 lpm, 4 lpm, dan 6 lpm (l/menit). Dari keempat laju aliran tersebut masing - masing di uji coba pada putaran 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm, dan 2000 rpm (*Revolution per Minute*).

Pada penelitian kali ini memiliki dua variabel penelitian, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Dengan variabel bebas yaitu laju aliran gas hidrogen, dan putaran motor. Sedangkan terdapat variabel terikat yaitu nilai daya, torsi, bahan bakar spesifik dan efisiensi termal.

3.3 Skema Penelitian (*Set Up Experiment*)

Pada penelitian kali ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan gas hidrogen pada *intake manifold* mesin diesel terhadap emisi gas buang dari pembakaran yang terjadi pada mesin diesel. Skema yang dilakukan untuk memenuhi tujuan tersebut yaitu dengan dilakukannya penambahan *dual fuel* pada mesin diesel. Hasil dari pembakaran yang berupa nilai daya, torsi, bahan bakar spesifik dan efisiensi termal.



Gambar 3.2 Skema Penelitian

(Sumber Gambar: Dokumen Pribadi)

3.4 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan sebagai penunjang untuk studi kali ini sebagai berikut:

3.4.1 Alat

1. Motor Diesel



Gambar 3.3 Motor Diesel Dongfeng R175 A

(Sumber Gambar : Laboratorium Prestasi Mesin JTM-UNTIRTA)

Motor diesel yang digunakan pada studi kali ini yaitu mesin diesel Dongfeng R175 A, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Diesel

Merek (merk):	Dong Feng R175 A
Tipe (type):	1 silinder, 4 langkah
Sistem Pembakaran (Combustion system):	Ruang bakar muka (Precombustion chamber)
Diameter (Bore) x langkah (Stroke)	75 x 80 milimeter
Volume langkah (Displacement):	0,353 liter
Keluaran maksimum (Maximum output):	7 dk
Putaran mesin maksimum (Rated speed):	2600 rpm
Konsumsi bahan bakar (Fuel consumption):	\leq 206 gr/dk.jam
Sistem pendingin (Cooling system):	Penguapan (evaporative)
Berat bersih (net weight):	65 kg

(Sumber Tabel : Katalog Spesifikasi Motor Diesel)

2. *Tachometer*



Gambar 3.4 *Tachometer*

(Sumber Gambar : Dokumen Pribadi)

Tachometer merupakan alat untuk mengukur putaran dalam satuan menit (rpm). Tujuan *tachometer* digunakan untuk mengukur rpm dari mesin diesel yang akan digunakan.

3. *Flow Meter*

Flow Meter merupakan alat untuk mengukur laju aliran udara atau gas. Satuan dari *Flow Meter* adalah lpm (liter per menit), tujuan alat ini digunakan untuk mengukur kebutuhan analisa gas hidrogen yang mengalir dari tabung ke *intake manifold* mesin diesel.



Gambar 3.5 *Flowmeter*

(Sumber Gambar :Dokumen Pribadi)

4. *Stopwatch*

Stopwatch merupakan alat ukur dengan satuan waktu. *Stopwatch* digunakan untuk menghitung lamanya waktu yang digunakan untuk pengujian bahan bakar. Di era digital, *Stopwatch* dapat digunakan dari handphone atau *gadget* lainnya.

Gambar 3.6 *Stopwatch*

(Sumber Gambar : Dokumen Pribadi)

5. Burret

Burret merupakan alat ukur satuan volume. Burret pada penelitian kali ini digunakan untuk menghitung volume bahan bakar yang digunakan.

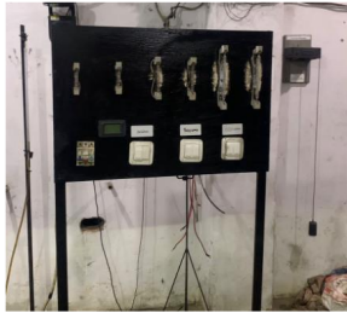


Gambar 3.7 Burret

(Sumber Gambar : Dokumen Pribadi)

6. Meja Lampu Pembebanan

Meja pembebanan merupakan sebuah tempat untuk pembebanan mesin menggunakan lampu. Mesin digunakan untuk memutar generator melalui pulley, lalu generator digunakan untuk menyalakan lampu pembebanan dengan daya yang cukup tinggi. Selain itu di meja pembebanan terdapat monitor daya yang berisi pengukuran arus Listrik, frekuensi dan tegangan.



Gambar 3.8 Meja Pembebanan

(Sumber Gambar : Dokumen Pribadi)

7. *Flashback Arrestor*

Flashback Arrestor merupakan alat *safety* atau pengaman. *Flashback Arrestor* berfungsi untuk menahan tekanan balik dari gas yang mengalir agar aliran gas tetap satu arah



Gambar 3.9 *Flashback Arrestor*

(Sumber Gambar : Dokumen Pribadi)

8. *Flame Trap*

Flame Trap merupakan alat *safety* yang berfungsi untuk menahan api agar tidak menyebar ke sumber bahan bakar atau ke tabung gas. *Flame Trap* merupakan alat *safety* terpenting dalam penyaluran gas.



Gambar 3.10 *Flame Trap*
(Sumber Gambar : Dokumen Pribadi)

3.4.2 Bahan

1. Hidrogen

Hidrogen adalah unsur yang berupa gas dan dapat digunakan sebagai terobosan energi baru terbarukan. Di lain sisi, hidrogen juga dapat dijadikan bahan bakar ramah lingkungan dikarenakan gas hidrogen tidak mengandung karbon atau bebas karbon. Hidrogen dapat dicampurkan pada pembakaran mesin diesel dengan penambahan *dual fuel* pada *intake manifold* mesin diesel.



Gambar 3.11 Hidrogen
(Sumber Gambar : Dokumen Pribadi)

2. Dexlite

Dexlite merupakan bahan bakar mesin diesel yang dijual di Indonesia dan umum digunakan untuk kendaraan Masyarakat Indonesia. Angka *Cetane Number* dari dexlite adalah 49,2.

3.5 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang digunakan pada penelitian ini terdapat 3 tahapan agar penelitian ini mendapatkan hasil yang sesuai dengan harapan. Pengujian digunakan di Laboratorium Konversi Energi FT. UNTIRTA.

1. Tahap Persiapan
 - a. Mempersiapkan setiap alat ukur yang ingin digunakan.
 - b. Mengisi bahan bakar dexlite pada gelas ukur.
 - c. Memasang saluran *dual fuel*.
2. Tahap *Safety Control* Sebelum Pengujian
 - a. Memastikan tidak ada kebocoran pada saluran bahan bakar dexlite.
 - b. Memastikan tidak adanya kebocoran pada saluran *dual fuell system*.
 - c. Memastikan tidak adanya selang atau kabel yang terlilit.
 - d. Menyalakan *Exhaust Fan* dan membuka pintu, agar tidak ada gas terjebak dalam ruangan bila mengalami kebocoran.
3. Tahap Pengujian
 - a. Menyalakan mesin diesel dan memaskan mesin diesel agar mendapatkan hasil yang sesuai harapan.
 - b. Mengatur variabel rpm mesin diesel sesuai yang ingin diteliti.
 - c. Memutar valve regulator hidrogen dan flow meter sesuai variabel yang ingin diteliti. (Bila tidak mengukur *dual fuel*, langkah ini dapat dilewati)
 - d. Menyalakan lampu pembebanan pada beban 1000 watt (2 buah lampu 500 watt).

- e. Mengukur lamanya waktu dan banyaknya bahan bakar yang digunakan.
 - f. Mengulangi dan mencatat setiap pengukuran dari langkah c hingga e.
4. Tahap *Safety Control* Setelah Pengujian
- a. Mentup *valve* regulator tabung hidrogen.
 - b. Melepaskan gas hidrogen yang terjebak pada *fire trap*.

BAB IV

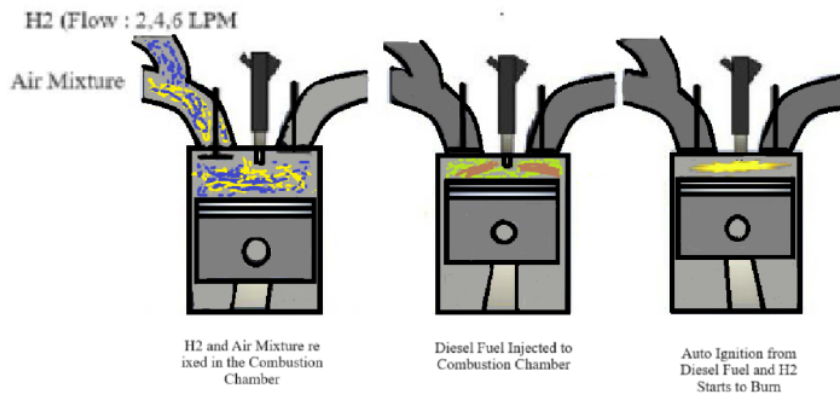
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Dual fuel

Dual fuel merupakan sistem pembakaran mesin yang beroperasi dengan dua bahan bakar yang berbeda. Pada penelitian kali ini menggunakan bahan bakar solar berupa dexlite yang memiliki CN 51 yang dicampur dengan gas hidrogen pada perbandingan kadar konsentrasi tertentu. Perbandingan yang di uji pada penelitian kali ini di tujukan untuk melihat hasil pnedaan antara mesin diesel beroperasi tanpa adanya tambahan hidrogen (0 lpm) dengan ditambahkan aliran hidrogen ke *intake Manifold* sebesar 2 lpm, 4 lpm, dan 6 lpm.

Prinsip kerja dari *Dual fuel* pada penelitian ini adalah gas hidrogen di masukan pada *intake Manifold* terlebih dahulu sehingga ketika mesin melakukan langkah hisap, hidrogen yang berada pada intake chamber masuk bersamaan dengan udara bebas yang terhisap ke ruang bakar. Pada saat langkah kompresi, bahan bakar dexlite di injeksikan ke ruang bakar ikut dan ikut tercampur dengan hidrogen dan udara bebas. Sehingga ketika kompresi sudah mencukupi untuk melakukan langkah kerja dengan membakar bahan bakar solar (dexlite) dan pada saat bersamaan terbakarnya dexlite bahan bakar hidrogen ikut terbakar membantu proses pembakaraan pada langkah kerja.

Pada dasarnya, hidrogen tidak akan terbakar terlebih dahulu karena memiliki *Auto Ignition Point* yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar solar. Namun *Flash Point* dari hidrogen jauh lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar yang sehingga sangat cepat terbakar ketika bahan bakar solar sudah terbakar. Percampuran antara hidrogen dan bahan bakar solar yang dapat diatur sesuai kebutuhan kompresi mesin dapat menjadi inovasi untuk *Internal Combustion Engine* (Mesin Pembakaran Dalam) dan solusi untuk masalah pencemaran lingkungan.



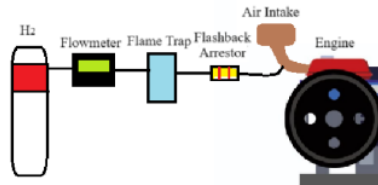
Gambar 4.1 Cara Kerja *Dual Fuel*
 (Sumber Gambar : Dokumen Pribadi)

4.1.1 Keamanan *Dual fuel*

Hidrogen merupakan zat yang mudah terbakar. *Flash Point* dari hidrogen sangat tinggi yang menyebabkan penyebaran pembakaran sangat cepat. Gas hidrogen membutuhkan tabung penyimpanan yang bertekanan tinggi untuk penyimpanan dalam volume yang sangat besar.

Untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja ketika penelitian dibutuhkannya dua pengaman berupa *Flashback Arrestor* dan *Flame Trap*. Prinsip kerja dari *Flashback Arrestor* adalah membuka katup jika ada laju aliran satu arah dan membantu mencegah aliran gas apabila terjadinya guncangan tekanan atau menahan tekanan balik ketika mesin diesel sedang bekerja. *Flashback Arrestor* ditempatkan paling dekat dengan *Intake Manifold* agar memaksimalkan pengamanan. Sedangkan prinsip kerja dari *Flame Trap* adalah menahan api agar tidak menyebar menuju sumber laju aliran gas. Apabila adanya kecelakaan kerja berupa gas yang terbakar ketika laju aliran sedang kontinu, fungsi *Flame Trap*

menahan api tersebut menyebar agar tidak menuju sumber gas. *Flame Trap* menjadi pengaman kedua dan ditempatkan setelah *Flowmeter*.



Gambar 4.2 Keamanan Dual Fuel

(Sumber Gambar : Dokumen Pribadi)

4.2 Perhitungan

Untuk mencari nilai daya, torsi, SFC, dan Efisiensi Thermal dibutuhkan perhitungan dari nilai hasil pengujian. Salah satu yang dapat diambil adalah data dari pengujian *Dual fuel* dengan laju aliran 6 LPM pada 2000 rpm sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Dual fuel* 6 LPM

n mesin (rpm)	n mes aktual (rpm)	n gen (rpm)	V (volt)	I (Ampere)	t SFC (sec)
1200	1218	893,2	97	2,16	233,05
1400	1417	1039,133333	115	2,38	175,26
1600	1613	1182,866667	159	2,85	135,07
1800	1826	1339,066667	193	3,14	105,31
2000	2010	1474	223	3,47	87,42

- Pehitungan Daya

$$Ne = \frac{V_1 \times I \times \cos \phi}{\eta_{generator} \times \eta_{tr} \times 1000} \quad (1)$$

$$Ne = \frac{223 \times 3,47 \times 0,99}{0,85 \times 0,537 \times 1000}$$

$$Ne = 1,651 \text{ kW}$$

Keterangan :

- V = Tegangan Listrik (Volt)
- N_e = Daya Efektif (kW)
- I = Kuat Arus (Ampere)
- $\cos \phi$ = Faktor Daya Listrik (0,99)
- $\eta_{generator}$ = efisiensi generator (0,85)
- η_{tr} = efisiensi transmisi (slip) =

$$\frac{D_{pulley\ generator}}{D_{pulley\ motor}} \times \frac{n_{generator}}{n_{motor}}$$

$$\frac{11\ cm}{15\ cm} \times \frac{1474}{2010} = 0,5377$$

- Perhitungan Torsi

$$T = \frac{N_e \times 60 \times 1000}{2\pi \times n_{motor}} \quad (2)$$

$$T = \frac{1,651 \times 60 \times 1000}{2\pi \times 2010}$$

$$T = 7,85\ Nm$$

Keterangan :

- N_e = Daya Efektif (kW)
- T = Torsi (Nm)
- n = Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)

- Perhitungan SFC

$$Sfc = \frac{V_f \times \rho_f}{N_e} \quad (4)$$

Keterangan :

- Sfc = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)
- N_e = Daya efektif (kW)
- ρ_f = Densitas 15°C pada sampel minyak (kg/dm³)
- $V_f = \frac{Vol}{Waktu}$ = Vol. bahan bakar per waktu yang di gunakan (dm³/h)
- SFC Dexlite
 - Bahan bakar yang terpakai = 15 mL = 0,015 dm³
 - ρ_f = 0,815 kg/Lt
 - Waktu yang digunakan untuk bahan bakar 15 mL = 87,42 detik =

0,0242 Jam

$$Vf = \frac{0,015}{0,0242}$$

$$Vf = 0,6198 \text{ Lt/h}$$

$$Sfcd = \frac{0,6198 \frac{\text{Lt}}{\text{h}} \times 0,815 \text{ kg/Lt}}{1,651 \text{ kW}}$$

$$Sfcd = 0,305 \text{ kg/kWh}$$

- SFC Hidrogen

- Laju aliran hidrogen 6 LPM = 6 Lt/mnt = 360 Lt/h
- $\rho_f = 0,00009 \text{ kg/Lt}$

$$Sfch = \frac{360 \frac{\text{Lt}}{\text{h}} \times 0,00009 \text{ kg/Lt}}{1,651 \text{ kW}}$$

$$Sfch = 0,0196 \text{ kg/kWh}$$

- SFC *Dual fuel* 6 LPM pada 2000 rpm

$$Sfc = Sfcd + Sfch$$

$$Sfc = 0,3244 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$$

- Efisiensi Thermal *Dual fuel*

$$\eta_{th} = \left(\frac{Ne}{(md \times \text{LHVd}) + (mh \times \text{LHVh})} \right) \times 100 \% \quad (3)$$

Keterangan :

- η_{th} = Efisiensi Thermal (%)
- Ne = Daya Efektif (kW)
- md = laju aliran massa dextlite (kg/h)
- mh = laju aliran massa hidrogen (kg/h)
- LHVd = *Low Heat Value* dextlite (kWh/kg)
- LHVh = *Low Heat Value* Hidrogen (kWh/kg)

- Mencari md

$$md = Ad \times \rho_d \times v_d$$

Keterangan

- A_d = Luas Penampang selang dexlite (m^3)
 $A_d = 78,57 \times 10^{-6} m^3$
- ρ_d = Massa Jenis Dexlite (Kg/m^3)
 $\rho_d = 815 kg/m^3$
- v_d = Kecepatan Dexlite (m/s)
- Vol. Dex = 15 ml = $15 \times 10^{-6} m^3$

$$v_d = \left(\frac{Vol. dex}{A_d \times t} \right)$$

$$v_d = \left(\frac{0,000015}{0,00007857 \times 87,42} \right)$$

$$v_d = 0,00218 m/s$$

$$m_d = 0,0007857 \times 815 \times 0,00218$$

$$m_d = 0,00013984 \frac{kg}{s} = 0,5034 \frac{kg}{h}$$

- Mencari m_h

- A_i = Luas Penampang Intake Hidrogen (m^3)
 $A_i = 19,6428 \times 10^{-6} m^3$
- ρ_d = Massa Jenis Hidrogen (Kg/m^3)
 $\rho_d = 0,09 kg/m^3$
- Q = debit hidrogen
 $Q = 6 LPM = 0,0001 m^3/s$
- v_h = kecepatan hidrogen (m/s)

$$v_h = \left(\frac{Q}{A_i} \right)$$

$$v_h = \left(\frac{0,0001}{0,00001964} \right)$$

$$v_h = 5,09 m/s$$

$$m_h = A_i \times \rho_h \times v_h$$

$$m_h = 0,00001964 \times 0,09 \times 5,09$$

$$m_h = 0,00000894 \frac{kg}{s} = 0,0324 \frac{kg}{h}$$

- Efisiensi Thermal *Dual fuel*

$$\eta_{th} = \left(\frac{Ne}{(m_d \times LHV_d) + (m_h \times LHV_h)} \right) \times 100 \%$$

$N_e = 1,651 \text{ kW} = 1,651 \text{ kJ/s} = 5943600 \text{ kJ/h}$
 $LHV_d = 47054,2 \text{ kJ/kg}$
 $LHV_h = 119810 \text{ kJ/kg}$

$$\eta_{th} = \left(\frac{5943600}{(0,5034 \times 47054,2) + (0,0324 \times 119810)} \right) \times 100 \%$$

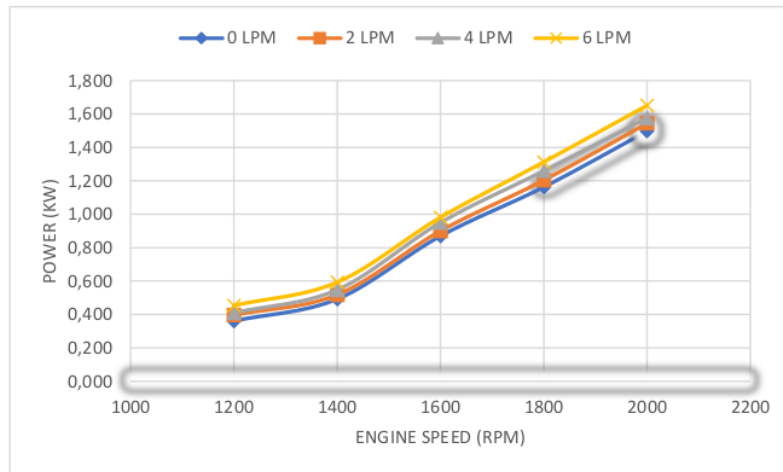
$$\eta_{th} = 21,56\%$$

4.3 Analisa Daya

Daya merupakan kemampuan atau energi yang yang digunakan per satuan waktu. Pada pengujian kali ini, daya dari mesin diesel di salurkan pada dua buah lampu 500 watt atau sama dengan 1000 watt. Dari hasil pengujian didapatkan nilai daya masing masing sebesar.

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Daya

RPM	5 Daya (kW)			
	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	0,361	0,397	0,410	0,454
1400	0,492	0,518	0,548	0,593
1600	0,870	0,900	0,950	0,981
1800	1,163	1,203	1,260	1,313
2000	1,497	1,545	1,576	1,651



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Daya

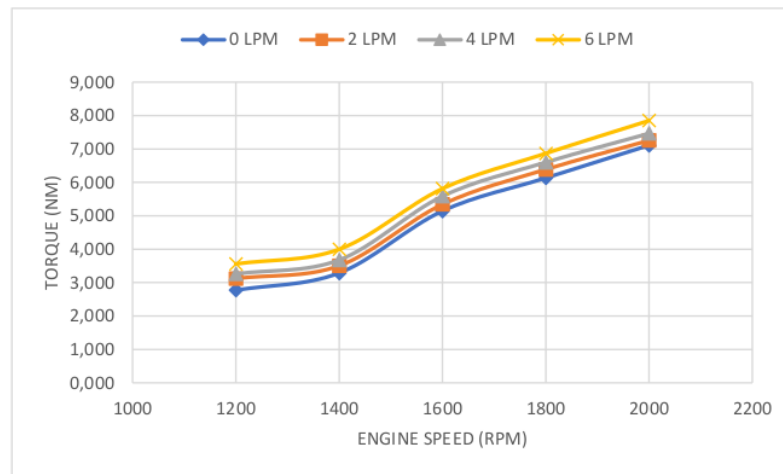
Kenaikan daya berbanding lurus dengan kenaikan putaran mesin. Kenaikan terbesar terjadi pada campuran hidrogen 6 LPM dengan putaran mesin 2000 rpm sebesar 0,154 kW. Massa jenis bahan bakar mempengaruhi kalibrasi mesin dan tenaga karena massa yang terkandung dari massa jenis tersebut berpengaruh terhadap waktu pembakaran dan emisi. Adanya penambahan *Dual fuel* dapat menambahkan daya pada mesin diesel dibandingkan tanpa adanya penambahan hidrogen. Nilai kalor hidrogen lebih tinggi dari nilai kalor dexlite, nilai kalor yang tinggi dapat mengeluarkan energi yang lebih besar berdasarkan massa dari yang terbakar pada pembakaran. (Layton, 2008)

4.4 Analisa Torsi

Torsi atau Momen Gaya adalah kemampuan benda untuk melakukan gerak berotasi. Hasil perhitungan dari pengujian didapatkan nilai torsi masing masing sebesar :

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Torsi

RPM	Torsi (Nm)			
	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	2,773	3,122	3,261	3,559
1400	3,288	3,503	3,677	3,997
1600	5,144	5,343	5,586	5,813
1800	6,133	6,388	6,601	6,867
2000	7,110	7,255	7,464	7,849



Gambar 4.2 Perbandingan Nilai Torsi

Ketika mesin melakukan langkah kerja terdapat gaya dorong vertikal kebawah yang ditujukan untuk memutar *crankshaft*. Torsi dari *crankshaft* digunakan untuk disalurkan ke roda gigi atau *pulley*. Sama halnya dengan daya, kenaikan putaran mesin berbanding lurus dengan kenaikan torsi. Penambahan hidrogen sebesar 6 LPM pada putaran mesin 2000 rpm dapat meningkatkan torsi sebesar 0,739 Nm. Penambahan hidrogen dapat meningkatkan performa daya dan torsi pada mesin diesel.

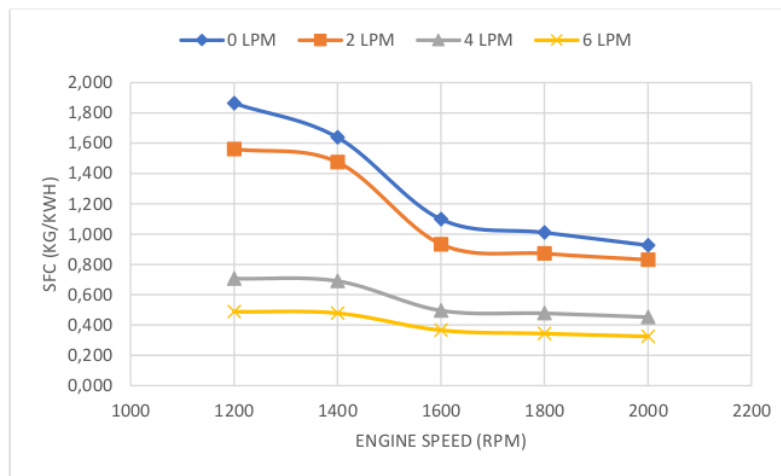
4.5 Analisa SFC

Specific Fuel Consumption didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan (output). Karena terdapat dua bahan bakar yang berbeda atau *Dual fuel* maka perhitungan yang dilakukan adalah menghitung masing masing laju aliran massa berupa laju aliran massa bahan bakar solar (dextlite) dan bahan bakar gas hidrogen.

Dari hasil perhitungan didapatkannya nilai SFC masing - masing sebagai berikut :

Tabel 4.3 Perbandingan Nilai *Specific Fuel Consumption*

RPM	SFC (kg/kWh)			
	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	1,863	1,562	0,706	0,488
1400	1,638	1,475	0,690	0,478
1600	1,098	0,933	0,495	0,365
1800	1,010	0,871	0,477	0,343
2000	0,926	0,830	0,452	0,324



Gambar 4.3 Perbandingan Nilai *Specific Fuel Consumption*

Dikarenakan hidrogen memiliki massa yang sangat rendah, maka mendapatkan laju aliran massa yang kecil, semakin kecil nilai SFC maka semakin ramah lingkungan dan semakin tinggi efisiensi thermalnya. Pada laju aliran 4 LPM dan 6 LPM, bahan bakar hidrogen dapat terbakar dengan optimal dan menghasilkan nilai SFC yang sangat baik dibandingkan dengan campuran laju aliran hidrogen 2 LPM. Penambahan *Dual fuel* membantu pembakaran lebih optimal pada mesin diesel.

Adapun nilai presentase dexlite yang tergantung oleh hidrogen dan nilai segi ekonomis dari *Dual Fuel*. Mencari nilai presentase dexlite yang tergantung adalah dengan menghitung nilai laju aliran massa.

Tabel 4.4 Laju Aliran Massa Dexlite

Flow Mass Dexlite (Kg/H)				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	0,673	0,609	0,268	0,189
1400	0,806	0,754	0,356	0,251
1600	0,954	0,829	0,449	0,326
1800	1,174	1,038	0,579	0,418
2000	1,387	1,272	0,691	0,503

Dan sedangkan untuk presentase dexlite yang tergantikan oleh hidrogen berdasarkan laju aliran massanya sebagai berikut:

Tabel 4.5 Presentase Dexlite Yang Tergantikan oleh Hidrogen

Presentase Massa Dexlite yang Tergantikan (%)				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	0,000	9,484	60,185	71,946
1400	0,000	6,493	55,824	68,858
1600	0,000	13,115	52,987	65,862
1800	0,000	11,601	50,639	64,400
2000	0,000	8,266	50,196	63,693

Untuk menghitung *Dual Fuel* dari segi ekonomis dapat dihitung berdasarkan massa yang terpakai, harga dari masing masing bahan bakar, dan daya yang dihasilkan.

Diketahui :

- Harga Dexlite = Rp. 14.550,-/liter
- Harga Hidrogen = Rp. 250.000,-/m³ = Rp. 250,-/liter
- Densitas Dexlite = 0,815 kg/lt
- Densitas Hidrogen = 9×10^{-5} kg/lt

Tabel 4.6 Flow Mass Hidrogen

Flow Mass Hidrogen (Kg/H)				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	0,000	0,011	0,022	0,032
1400	0,000	0,011	0,022	0,032
1600	0,000	0,011	0,022	0,032
1800	0,000	0,011	0,022	0,032
2000	0,000	0,011	0,022	0,032

Setelah menghitung dari laju aliran massa dari dextrite dan hidrogen, didapatkannya harga dual fuel dalam liter/kWh sebagai berikut

Tabel 4.7 Nilai Ekonomis *Dual Fuel*

Harga Dual Fuel dalam Rp.lit/kWh				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	33260,15512	102947,631	158035,439	205766,596
1400	29248,6559	85255,524	121224,598	159258,504
1600	19595,78495	60715,772	74828,571	99133,409
1800	18026,66503	52323,021	59307,892	76000,918
2000	16531,77941	46817,482	49747,290	61932,320

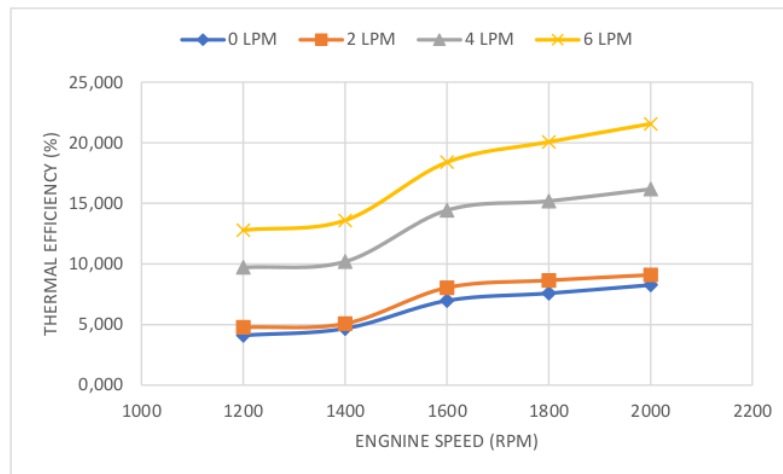
4.6 Analisa Efisiensi Thermal

Efisiensi Thermal adalah rasio perbandingan kalor yang terpakai pada langkah kerja dengan daya yang dihasilkan untuk memutar poros engkol pada mesin dengan panas yang terbuang.

Hasil perhitungan dari pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

Tabel 4.8 Perbandingan Nilai Efisiensi Thermal

Effisiensi Thermal (%)				
RPM	0 LPM	2 LPM	4 LPM	6 LPM
1200	4,107	4,771	9,710	12,795
1400	4,670	5,076	10,190	13,594
1600	6,970	8,040	14,430	18,389
1800	7,577	8,644	15,189	20,067
2000	8,262	9,094	16,170	21,562



Gambar 4.4 Perbandingan Nilai Efisiensi Thermal

Semakin tinggi efisiensi thermal maka semakin efisien mesin bekerja karena energi yang terpakai untuk di konversikan sebagai daya lebih banyak. Efisiensi thermal berbanding terbalik dengan nilai SFC, jika SFC semakin kecil maka efisiensi thermal akan semakin besar. Sama halnya dengan SFC, pada perhitungan efisiensi thermal dilakukannya perhitungan dengan laju aliran massa bahan bakar solar (dexlite) dan perhitungan dengan laju aliran massa hidrogen.

Dikarenakan massa hidrogen yang kecil, semakin banyak hidrogen yang terhisap ke ruang bakar dan terbakar sempurna maka semakin besar efisiensi thermalnya. Sifat hidrogen memiliki nilai kalor yang tinggi dapat meningkatkan kinerja dan karakteristik pembakaran mesin diesel. (Hosseini et al., 2023)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari pengujian *Dual fuel* dengan bahan bakar solar (dextrite) dan hidrogen yang disalurkan pada *Intake Manifold* di Mesin Diesel Dong Feng R175 dengan kapasitas mesin 353cc yang diberikan pembebanan pada dua buah lampu 500 watt adalah :

1. *Dual fuel* berpengaruh pada performa daya dan torsi dari mesin diesel. Pengaruh *Dual fuel* dapat meningkatkan performa dari mesin diesel berupa daya dan torsi sebesar 0,154 kW dan 0,739 Nm dibandingkan dengan tanpa adanya penambahan hidrogen. Daya dan torsi terbesar dicapai pada laju aliran hidrogen 6 LPM pada rentang 2000 rpm sebesar 1,651 kW dan 7,85 Nm. Penambahan *Dual Fuel* membantu pembakaran mesin menjadi lebih optimal. Nilai kalor hidrogen yang tinggi dapat mengeluarkan energi yang lebih besar berdasarkan massa dari yang terbakar pada pembakaran, Daya dan Torsi dipengaruhi
2. *Dual fuel* sangat berpengaruh pada nilai SFC dan efisiensi thermal dikarenakan adanya campuran bahan bakar hidrogen yang memiliki massa sangat kecil dan nilai kalor yang lebih besar dibandingkan dengan dextrite. Untuk menghitung nilai SFC dan efisiensi termal menggunakan laju aliran massa sehingga terjadi kenaikan yang begitu pesat. Kenaikan yang signifikan terjadi saat laju aliran hidrogen sebesar 4 LPM dan 6 LPM karena pada dua laju aliran tersebut hidrogen dapat dengan optimal bekerja dibandingkan dengan 0 LPM dan 2 LPM. Nilai SFC dan efisiensi thermal terbaik ada pada laju aliran 6 LPM dan putaran mesin 2000 rpm yaitu untuk SFC sebesar 0,324 kg/kWh dan efisiensi thermal 21,56 %. Perbedaan nilai SFC dan efisiensi termal antara laju aliran hidrogen 0 LPM dan 6 LPM pada 2000 rpm adalah nilai SFC menurun 0,602 Lt/kWh dan

nilai efisiensi termal menaik 13,3%. Semakin kecil nilai SFC maka semakin besar nilai efisiensi termal dan hasil tersebut menunjukkan mesin bekerja dengan optimal.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan agar penelitian *dual fuel* dapat lebih baik dan menjadi inovasi dalam perkembangan teknologi, yaitu:

1. Dilakukannya pengujian emisi gas buang agar dapat mengetahui pengaruh dari *dual fuel* (diesel-hidrogen) pada mesin Dong Feng R175.
2. Penambahan *relay* dan *injector* serta *crank angle sensor* agar dapat mengatur hidrogen di injeksikan pada beberapa saat sebelum sudut Titik Mati Atas agar menjadi variabel baru untuk pengujian berikutnya.
3. Penggunaan mesin diesel maupun mesin bensin lainnya agar mengetahui perbandingan antara penambahan hidrogen dan tanpa adanya hidrogen guna menjadi inovasi dan meningkatkan perkembangan dunia teknologi permesinan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandra, W. (1983). *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Institut Teknologi Bandung.
- Ghosh, B. (2024). Chapter 6.1 - Potential of hydrogen in powering mobility and grid sectors. In D. Jaiswal-Nagar, V. Dixit, & S. Devasahayam (Eds.), *Towards Hydrogen Infrastructure* (pp. 349–376). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95553-9.00063-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95553-9.00063-7)
- Gnanamoorthi, V., & Vimalananth, V. T. (2020). Effect of hydrogen fuel at higher flow rate under dual fuel mode in CRDI diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(33), 16874–16889. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.145](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.145)
- Hosseini, S. H., Tsolakis, A., Alagumalai, A., Mahian, O., Lam, S. S., Pan, J., Peng, W., Tabatabaei, M., & Aghbashlo, M. (2023). Use of hydrogen in dual-fuel diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 98, 101100. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pecs.2023.101100](https://doi.org/10.1016/j.pecs.2023.101100)
- Kalamajaya, M. F. (2016). PERBEDAAN KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN KEPEKATAN GAS BUANG MESIN DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR DAN CAMPURAN SOLAR DENGAN MINYAK CENGKEH. *Universitas Negeri Semarang*.
- ⁴ Koten, H. (2018). Hydrogen effects on the diesel engine performance and emissions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.146>
- Layton, B. (2008). A Comparison of Energy Densities of Prevalent Energy Sources in Units of Joules Per Cubic Meter. *International Journal of Green Energy*, 5, 438–455. <https://doi.org/10.1080/15435070802498036>
- Maymuchar, & Wibowo, C. S. (2011). Pengaruh Mutu Bahan Bakar Minyak Solar 48 dan 51 terhadap Pembentukan Emisi Partikulat pada Kendaraan Bermotor. *Jurnal Lemigas*, 45(No.3).
- ⁴ Miyamoto, T., Hasegawa, H., Mikami, M., Kojima, N., Kabashima, H., & Urata, Y. (2011). Effect of hydrogen addition to intake gas on combustion and exhaust emission characteristics of a diesel engine.

International Journal of Hydrogen Energy, 36(20), 13138–13149.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.06.144>

Monasari, Firdaus, A., & Qosim, N. (2021). Pengaruh Penambahan Zat Aditif Pada Campuran Bahan Bakar Bensin – Bioethanol Terhadap Specific Fuel Consumption. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 9, 1–10.

Tsujimura, T., & Suzuki, Y. (2017). The utilization of hydrogen in hydrogen/diesel dual fuel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.152>

Winangun, K., Setiyawan, A., Sudarmanta, B., Buntoro, G. A., Pangestu, R. E., Nurgito, A., & Prasetyo, T. (2023). *Penggunaan bahan bakar terbarukan (biodiesel-hidrogen) pada mesin diesel dual fuel untuk mendukung energy transition di Indonesia*.
<https://doi.org/10.24127/trb.v12i1.2532>

Yadav, V. S., Soni, S. L., & Sharma, D. (2014). Engine performance of optimized hydrogen-fueled direct injection engine. *Energy*, 65, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.007>

Yilmaz, I. T., & Gumus, M. (2018). Effects of hydrogen addition to the intake air on performance and emissions of common rail diesel engine. *Energy*, 142, 1104–1113.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.018>

Cek plagiarisme TA_Rayhan Moraliwa

ORIGINALITY REPORT

8%

SIMILARITY INDEX

8%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	ejournal.undiksha.ac.id Internet Source	2%
2	lib.unnes.ac.id Internet Source	1%
3	ojs.ummetro.ac.id Internet Source	1%
4	www.thefreelibrary.com Internet Source	1%
5	www.zoll.com Internet Source	1%
6	Submitted to Universiti Teknologi Malaysia Student Paper	1%
7	repository.uin-suska.ac.id Internet Source	1%

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography Off

Cek plagiarisme TA_Rayhan Moraliwa

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

GENERAL COMMENTS

/0

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

PAGE 23

PAGE 24

PAGE 25

PAGE 26

PAGE 27

PAGE 28

PAGE 29

PAGE 30

PAGE 31

PAGE 32

PAGE 33

PAGE 34

PAGE 35

PAGE 36

PAGE 37

PAGE 38

PAGE 39

PAGE 40

PAGE 41

PAGE 42
