



Analysis of Variations in The Mixture of Methanol and Water in The Water Methanol Injection Against the Emissions of Exhaust Gases and Temperature in The Intake Manifold on The 4JBI-TC Diesel Engine

Analisis Variasi Campuran Methanol dan Air Pada Water Methanol Injection Terhadap Emisi Gas Buang dan Temperature Didalam Intake Manifold Pada Diesel Engine 4JBI-TC

Michael Primanda Sugalih¹, Purwoko²

Abstract

Increased automotive engine performance alongside Industry Generation 5.0 is projected to seek solutions to minimize exhaust gas emissions and improve engine and fuel operating efficiency. An alternative is the use of Water Methanol Injection (WMI) which injects a mixture of water and methanol into the combustion chamber in the intake manifold. The aim is to determine the impact of WMI on exhaust gas emissions and temperatures on the manifold intake with the function of a device to eliminate knocking or detonation in a high compression combustion chamber. The research method is a kind of quantitative experimental research by analysis the emissions of exhaustive gases and temperature in the intake of manifolds with a composition of methanol of 30%, 20% and 10%. The object of the study Diesel Engine 4JBI-TC 2,771 cc. The results obtained, WMI at different concentrations has a variable impact on CO, CO₂, HC, NO_x emissions in optimizing engine efficiency and performance at different RPMs as well as controlling emission in applications and optimizing combustion efficiency.

Keywords

Diesel Engine, Exhaust Gas Emissions, Intake Manifold, Temperature, Water Methanol Injection.

Abstrak

Peningkatan performa mesin otomotif beriringan dengan generasi industri 5.0 berproyeksi kepada pencarian solusi untuk meminimalisir emisi gas buang dan meningkatkan efisiensi kerja mesin dan bahan bakar. Alternatif yaitu penggunaan *Water Methanol Injection (WMI)* yang menginjeksikan campuran air dan *methanol* kedalam ruang bakar dalam *intake manifold*. Tujuan mengetahui pengaruh WMI terhadap emisi gas buang dan *temperature* pada *intake manifold* dengan fungsi alat menghilangkan *knocking* atau detonasi pada ruang bakar kompresi tinggi. Metode penelitian berjenis penelitian eksperimen kuantitatif dengan menganalisis emisi gas buang dan *temperature* di dalam *intake manifold* dengan komposisi *methanol* 30%, 20% dan 10%. Objek penelitian *Diesel Engine 4JBI-TC 2,771 cc*. Hasil yang diperoleh, WMI pada konsentrasi yang berbeda memiliki dampak yang bervariasi terhadap emisi CO, CO₂, HC, NO_x dalam mengoptimalkan efisiensi dan kinerja mesin pada RPM yang berbeda serta mengendalikan emisi dalam aplikasi mesin dan mengoptimalkan efisiensi pembakaran.

Kata Kunci

Diesel Engine, Emisi Gas Buang, Intake Manifold, Temperature, Water Methanol Injection.

¹ Program Studi D-Iv Teknik Otomotif Elektronik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141

*michael.sugalih29@gmail.com

Submitted : July 16, 2024. Accepted : December 31, 2024. Published : 31 December, 2024



PENDAHULUAN

Perkembangan kemajuan teknologi dibidang otomotif semakin pesat sehingga mendorong manusia untuk melakukan inovasi. Inovasi teknologi dibidang otomotif melibatkan segala aspek diantaranya motor bakar. Motor bakar merupakan suatu peralatan yang mengubah energi panas menjadi energi mekanik dengan memanfaatkan fluida kerja hasil pembakaran. Motor pembakaran dalam adalah alat yang berfungsi untuk mengkonversikan energi termal dari pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis, dimana proses pembakaran berlangsung di dalam silinder mesin sehingga gas pembakaran bahan bakar yang terjadi langsung digunakan sebagai fluida kerja untuk melakukan kerja mekanis [1].

Penggunaan jenis motor pembakaran dalam yaitu salah satunya adalah motor diesel, namun motor diesel sendiri menjadi jenis motor pembakaran dalam dengan tingkat emisi yang cukup tinggi yang dimana sangat berpengaruh dengan pemanasan global yang sedang terjadi saat ini. Perkembangan teknologi pada mesin otomotif akan menjadi salah satu solusi untuk mengurangi dampak polusi udara di beberapa negara dengan jumlah kendaraan yang tinggi. Hal ini membuat perkembangan teknologi pada kendaraan menuju kearah ramah lingkungan mulai diminati. Penggunaan teknologi injeksi pada kendaraan, berbagai aturan yang dikeluarkan oleh pemerintah dengan melakukan uji emisi kendaraan dan membuat ambang batas emisi gas buang yang semakin tinggi mengharuskan produsen kendaraan berinovasi untuk melewati ambang batas yang telah ditentukan. Dalam mengatasi permasalahan tersebut ada banyak metode untuk mengurangi emisi nitrogen oksida dari mesin diesel. Salah satu langkah yang menjanjikan adalah injeksi air ke *intake manifold* mesin. Karena batas emisi menjadi semakin ketat, mesin diesel *NOx-trade-off* partikulat merupakan tantangan bagi pengembang mesin diesel.

Di Eropa, hampir semua kendaraan diesel menggunakan perangkat partikulat. Akibatnya, target *NOx* emisi dapat dicapai dengan menerapkan strategi sederhana seperti waktu injeksi yang terlambat yang melibatkan pembentukan partikel mentah yang tinggi. Sayangnya, hal ini disertai dengan peningkatan konsumsi bahan bakar karena fase pembakaran yang tertunda. Menurut [2] injeksi air merupakan uap air dicirikan oleh kapasitas panas spesifik yang jauh lebih tinggi daripada udara kering. Menambahkan air ke muatan dalam silinder melibatkan peningkatan kapasitas panas spesifik. Karena itu, kenaikan suhu akibat pembakaran lebih rendah. Dengan injeksi air cair di *intake manifold* (silinder untuk injeksi langsung), efek pendinginan tambahan terjadi dengan proses penguapan air.

Injeksi air (WI) tampaknya menjadi metode yang tepat untuk mengurangi *NOx* emisi dengan hanya kelemahan kecil dalam hal emisi partikulat, ekonomi bahan bakar dan kinerja mesin. Selain itu, sistem injeksi air yang dikontrol secara elektronik memungkinkan laju air yang fleksibel tergantung pada titik operasi mesin. Pada tahun 1910, Otto Vollnhals melakukan eksperimen pertama dengan campuran udara, bahan bakar yang diamortisasi, dan air dalam mesin *hot bulb* berbahan bakar minyak. Pada tahun 1940, campuran air dan *methanol* digunakan dalam pesawat tempur *Messerschmitt Bf109G-10*. Sistem ini meningkatkan tenaga mesin dari 1700 menjadi 2400 HP [3]. Diharapkan dengan campuran ini mendapatkan pembakaran yang lebih sempurna sehingga menghasilkan emisi gas buang yang seminimal mungkin sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan. Namun penambahan langsung ke bahan bakar memiliki batas maksimal campuran karena bahan material kendaraan tidak dibuat khusus untuk bahan bakar *methanol* dengan jumlah campuran yang banyak.

Peningkatan performa mesin otomotif beriringan dengan generasi industri 5.0 berproyeksi kepada pencarian solusi untuk meminimalisir emisi gas buang dan meningkatkan efisiensi

kerja mesin dan bahan bakar. Inovasi yang dikembangkan dalam peningkatan performa mesin otomotif dan meminimalisir emisi gas buang melalui implementasi sistem injeksi air atau *Water Methanol Injection (WMI)*. Sistem *Water Methanol Injection (WMI)* injeksi air juga dikenal sebagai injeksi *anti-detonant* adalah metode untuk mendinginkan ruang pembakaran mesin dengan menginjeksikan air ke ruang silinder, umumnya bertujuan untuk meningkatkan rasio kompresi dan menghilangkan masalah ketukan [4]. Dengan meningkatnya suhu didalam ruang bakar juga semakin meningkatnya kemungkinan terjadinya *knocking* pada mesin. *Bosch* yang mengembangkan teknologi ini, menawarkan sistem injeksi air yang diberi nama *Water Boost* untuk pabrikan. Perusahaan mengklaim kenaikan kinerja mesin sebesar 4%, penurunan emisi CO₂ hingga 4% dan peningkatan penghematan bahan bakar sebesar 13% [5]. Rasio optimal injeksi air pada angka 15% dengan massa bahan bakar, hal ini menghasilkan meningkatkan performa dan emisi mesin (termasuk NO_x, CO₂, HC dan jelaga) emisi NO_x mengalami penurunan sebesar 34,6% [6].

Water Methanol Injection (WMI) tidak bekerja untuk menggantikan sistem injeksi bahan bakar suatu mesin, tetapi bekerja secara berdampingan untuk meningkatkan efisiensi *output* yang dihasilkan mesin tersebut. Faktanya *methanol* memiliki nilai oktan yang tinggi, sehingga dengan menginjeksikan berdampingan dengan bahan bakar akan menghasilkan mesin yang lebih bertenaga dan irit bahan bakar. Dengan menambahkan WMI maka diharapkan performa mesin akan meningkat sebesar 5%. Kemudian dengan penambahan mikrokontroler diharapkan *Water Methanol Injection (WMI)* lebih stabil dan presisi saat menginjeksikan air dan *methanol* tersebut sesuai dengan pengaturan [7].

Sistem model kerja injeksi air atau *water injection (WI)* langsung dan tidak langsung memiliki model kerja yang berbeda yang diuraikan. Sistem injeksi langsung (*direct injection*) merupakan model sistem injeksi air dengan injeksi air langsung dan menggunakan mesin *direct injection* menunjukkan hasil bahwa penambahan injeksi air mengurangi kemungkinan terjadinya ketukan pada beban mesin di torsi 90 Nm dan pada kondisi kecepatan mesin 2000 rpm dan waktu percikan busi yang maju juga dapat langsung meningkatkan *Break Specific Fuel Consumption* [8]. Sedangkan sistem injeksi air tidak langsung (*indirect injection*) merupakan model sistem injeksi air tidak langsung dan menggunakan mesin *indirect injection* dengan sistem ini menunjukkan efisiensi bahan bakar dengan injeksi air tidak langsung dapat meningkat hingga 20% ketika mesin dioperasikan pada saat throttle valve terbuka penuh. Pada saat yang sama peningkatan daya lebih dari 4% dicapai dibandingkan dengan operasi tanpa injeksi air [8]. Eksperimen yang dilakukan oleh Durst menunjukkan bahwa injeksi air di *intake manifold* dengan rasio bahan bakar air hingga 50% dapat menurunkan emisi NO_x hingga 25% pada kecepatan rendah dengan beban parsial, Sedangkan emisi NO_x meningkat secara terus menerus dan mencapai empat kali pada saat beban penuh dan kecepatan tinggi [9].

Proses penguapan air didalam ruang bakar akan membentuk hidroksida dan hidrogen pada suhu tinggi yang menyerap panas selama pembakaran. Uap air tidak hanya menyerap panas untuk menurunkan suhu, tapi juga menyediakan oksigen untuk membakar bahan bakar dan menyebabkan emisi NO_x yang lebih [10] rendah. Di bawah kondisi yang sesuai, penguapan air dapat mengakibatkan pendinginan dan karenanya, meningkatkan kepadatan campuran bahan bakar-udara masuk sebelum penutupan katup masuk [11]. Namun dengan menurunnya suhu ruang bakar karena melakukan injeksi air menyebabkan gas CO₂ meningkat seiring peningkatan jumlah injeksi air. Dalam upaya memberikan solusi lain dan memaksimalkan keseimbangan emisi gas buang antara NO_x dengan CO₂ beberapa peneliti mencampurkan air

dengan *methanol* atau etanol. Hal ini bertujuan untuk mengatasi kesulitan penguapan pada air. Karakteristik emisi dan performa mesin sangat tergantung pada karakteristik penguapan air dan rasio air terhadap bahan bakar yaitu 0,6 dengan jumlah lubang *nozzle* 6 dan diameter *nozzle* 0,14 mm menghasilkan tekanan efektif rata-rata tertinggi dan emisi NO_x, jelaga, dan CO

terendah dibandingkan dengan kasus tanpa injeksi air [10]. Kualitas atomisasi primer yang pada akhirnya bergantung pada desain *nozzle* dan tekanan injeksi, merupakan poin penting untuk meningkatkan kinerja sistem *Water Injection* (WI).

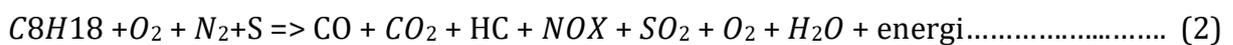
Emisi gas buang kendaraan adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin kendaraan yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin, sedangkan proses pembakaran adalah reaksi kimia antara oksigen di dalam udara dengan senyawa hidrokarbon di dalam bahan bakar untuk menghasilkan tenaga. Sisa pembakaran dari mesin kendaraan menghasilkan polutan yang mencemari lingkungan yang berpengaruh terhadap efek gas rumah kaca. Hal ini, didukung oleh suatu penelitian yang berjudul Analisa Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor 4 Tak Berbahan Bakar Campuran Premium Dengan Variasi Penambahan Zat Aditif oleh Siswanto pada 2016, yang menyatakan emisi gas buang merupakan polutan yang mengotori udara yang dihasilkan oleh gas buang kendaraan [12]. Gas buang kendaraan yang dimaksud disini adalah gas sisa proses pembakaran yang dibuang ke udara bebas Melalui saluran buang kendaraan. Terdapat emisi pokok yang dihasilkan kendaraan [12].

Dalam reaksi yang sempurna, maka sisa hasil pembakaran adalah berupa gas buang yang mengandung Karbondioksida (CO₂), Air (H₂O), Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂). Dalam prakteknya, pembakaran yang terjadi di dalam mesin kendaraan tidak selalu berjalan sempurna sehingga di dalam gas buang mengandung senyawa berbahaya seperti Karbonmonoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Nitrogenoksida (NO_x) dan partikulat. Di samping itu, bahan bakar yang mengandung timbal dan sulfur, hasil pembakaran di dalam mesin kendaraan juga akan menghasilkan gas buang yang mengandung Sulfurdioksida (SO₂) dan Timbal (Pb) [1]. Reaksi pembakaran secara teoritis yaitu reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar dan udara menggunakan seluruh reaktan habis terbakar sampai menghasilkan gas buang yang dijabarkan sebagai berikut:

Pembakaran ideal menunjukkan proses pembakaran ideal dari bahan bakar (*octane*) dengan Oksigen (O₂). Proses ini berlangsung sempurna, menghasilkan produk pembakaran yang hanya terdiri dari Karbondioksida (CO₂) dan Air (H₂O) yang ditunjukkan melalui persamaan :



Pembakaran aktual menunjukkan proses pembakaran aktual dari bahan bakar (*octane*) dengan Oksigen (O₂), Nitrogen (N₂), dan Sulfur (S). Proses ini tidak sempurna, menghasilkan produk pembakaran yang terdiri dari Karbonmonoksida (CO), Karbondioksida (CO₂), Hidrokarbon (HC), Nitrogenoksida (NO_x), Sulfurdioksida (SO₂), Oksigen (O₂), air (H₂O) dan energi yang ditunjukkan melalui persamaan :



Oleh karena itu untuk mengatasi kesulitan penguapan air dan menghindari terjadinya karat pada beberapa komponen mesin maka pada penelitian ini digunakan campuran *methanol* dengan rasio yang bervariasi. Sistem injeksi dengan campuran air atau *methanol* diharapkan dapat memaksimalkan konsumsi bahan bakar dengan menempatkan injektor diposisi yang tepat. Maka pada penelitian ini penempatan injektor air di posisi *intake manifold* dan dengan injeksi campuran yang tepat diharapkan dapat menurunkan emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar.

METODE PENELITIAN

Penelitian mengimplementasikan jenis penelitian eksperimen kuantitatif yang merupakan eksperimental dilakukan secara terencana, sistematis yang terkontrol dengan ketat baik dalam bentuk desain fungsional maupun faktorial. Melalui penjelasan tersebut, penelitian dilakukan berdasarkan uji alat *Water Methanol Injection (WMI)*. Alat ini berfungsi untuk menghilangkan *knocking* atau detonasi pada ruang bakar kompresi tinggi. WMI bekerja dengan menginjeksikan campuran air dan *methanol* ke dalam *intake manifold* sehingga campuran air dan *methanol* yang telah berbentuk partikel-partikel sangat kecil dan bercampur dengan udara, secara bersamaan mengalir masuk kedalam ruang bakar. Eksperimen menggunakan bahan bakar solar pada kendaraan mesin Diesel 4JB1-TC dengan 2.771 cc dengan tenaga maksimum 100/3,400 PS/RPM serta torsi maksimum 22.5/2,000-3,200 Kg M/rpm. Parameter yang dilibatkan yaitu kinerja mesin yang diukur berdasarkan parameter uji emisi gas buang dan suhu di dalam *intake manifold*. Data dalam penelitian ini diperoleh melalui proses eksperimen yang melibatkan pengujian objek yang diteliti dan pengumpulan data yang diperoleh dari hasil pengukuran alat *Water Methanol Injection (WMI)* yang diproses melalui pengolahan dan analisis data menggunakan persentase nilai rata-rata, uji tes signifikansi data serta analisis menggunakan tools SPSS ANOVA.

Penelitian dilaksanakan pada OTOXpert by *Operatored* Kartika Sari Motor Jl. Sulfat NO 234, Pandanwangi, Kec. Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur (65126) dan waktu penelitian 30 Januari 2023. Penelitian dilakukan dengan pengambilan data emisi gas buang dan *temperature* didalam *intake manifold* pada *Diesel Engine* 4JBI-TC dalam keadaan mesin nyala jalan. Variabel bebas (*independent*) pada penelitian meliputi *methanol* 30% dan air 70%, *methanol* kadar 20% dan air 80%, *methanol* kadar 10% dan air 90% serta putaran mesin 1500, 2000, dan 2500 RPM. Sedangkan untuk variabel terikat (*dependent*) pada penelitian meliputi Kadar CO, CO₂, NOx dan HC beserta *temperature* di dalam *intake manifold* dari unit *Water Methanol Injection (WMI)* pada *Diesel Engine* 4JB1-TC.

Pengambilan data pengujian menggunakan alat ukur emisi yaitu *HESBON HG-520* yang berfungsi sebagai pengukuran emisi gas buang CO, HC, CO₂, O₂ serta NOx. Parameter pengukuran *HESBON HG-520* adalah CO, HC, CO₂, O₂, λ (tingkat surplus udara), AFR (*Air Fuel Ratio*), NOx (Opsional tambahan/seri 5 GAS). Metode pengukuran CO, HC, CO₂, menggunakan metode NDIR dengan O₂, NOx *Electrochemical Cell*. Setelah itu, pengujian *temperature* didalam *intake manifold* mesin Diesel 4JB1-TC. Selain itu, bahan kadar yang digunakan pada pengujian emisi gas buang dan *temperature Water Methanol Injection (WMI)* menggunakan bahan bakar minyak dengan jenis solar (B30). Bahan bakar *methanol* (CH₃OH) digunakan sebagai bahan bakar tambahan digunakan sebagai bahan bakar tambahan yang dicampurkan dengan air (H₂O) dengan rasio standar perbandingan yang telah ditetapkan. Penggunaan air suling atau (H₂O) digunakan dengan pencampuran *water methanol* hanya mengandung hidrogen dan oksigen. Spesifikasi alat ukur dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

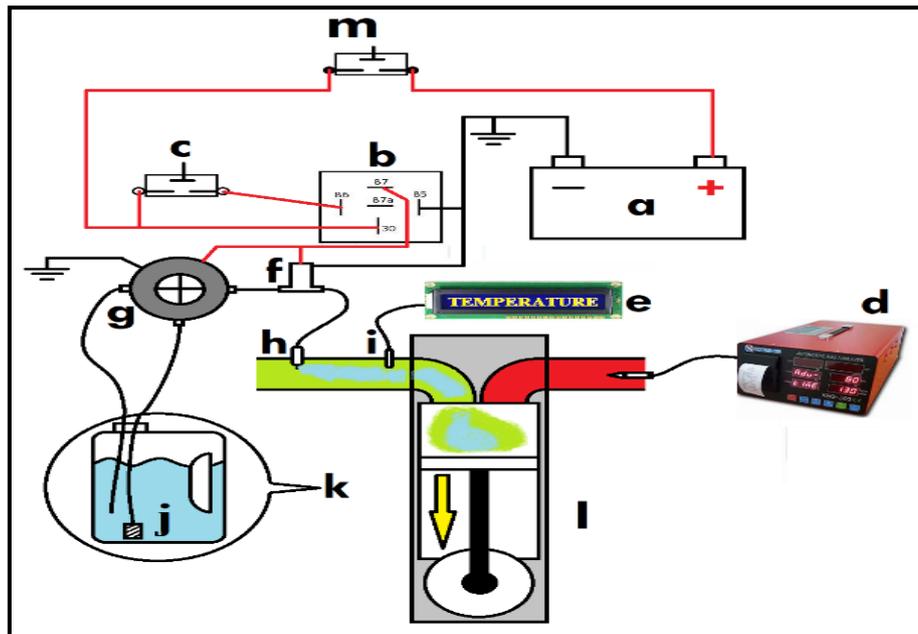
Tabel 1. Spesifikasi Alat Ukur Emisi dan Temperature *Water Methanol Injection (WMI)*

Nama Alat	Keterangan	
Alat Uji Emisi	HESBON HG-520	
	Papan Tombol	6 Tombol
	Parameter Pengukuran	CO, HC, CO ₂ , O ₂ , λ (tingkat surplus udara), AFR, NOx (Opsional tambahan/seri 5 GAS)
	Metode Pengukuran	CO, HC, CO ₂ , metode NDIR O ₂ , NOx <i>Electrochemical Cell</i>
	Kemampuan Baca	HC : 0 - 9999 ppm
		CO : 0.00 - 9.99%
CO ₂ : 0.0 - 20.0%		
O ₂ : 0 - 9999 ppm		

		<i>NOx</i> : 0 – 5000 ppm
		Λ : 0 - 2.000
	Suhu Kerja	0- 40 °C
	Tegangan Input	AC 220 Volt dan 50/60Hz
Alat Uji Temperatur	ESP32	
	Atribut	Detail
	CPU	Tensilica Xtensa LX6 32 bit <i>Dual-Core</i> di 160/240 Mhz
	SRAM	520 Kb
	FLASH	2Mb (max. 64Mb)
	Tegangan Masuk	2.2V - 3.6V
	Arus Kerja	Rata-rata 80mA
	<i>Programming</i>	C, C++, Python, dll.
	<i>Open Source</i>	
	Konektivitas	
	Wi-Fi	2.4Ghz up to 150Mbps/s
	<i>Bluetooth</i>	4.2 BR/EDR + BLE (<i>Bluetooth Low Energy</i>)
Alat Uji Temperatur	ESP32	
	Atribut	Detail
	GPIO	32
	SPI	4
	I2C	2
	PWM	8
	ADC	18 (12-bit)
	DAC	2 (8-bit)
	<i>K-Type Thermocouple with MAX6675 Amplifier</i>	
	<i>Direct Digital Conversion of K-type Thermocouple Output</i>	
	<i>Cold-junction Compensation</i>	
	<i>Simple SPI-compatible Serial Interface</i>	
	<i>Operating Voltage Range</i>	3.0 - 5.5V
	<i>Operating Temperature Range</i>	Max. 85 °C
		Min. -20 °C
	<i>Resolve Temperature to 0.25</i>	
<i>Max. Temperature Reading</i>	1024 °C	
LCD 16*2		
<i>Taffware DP-521</i>		
High Pressure Electric <i>Water Methanol</i> Injection Pump	Debit Aliran Maksimum 3	3.5 L/menit
	Tekanan Maksimal	0.48Mpa / 69.6181141Psi
	Tegangan Masuk	12V DC
	Arus kerja	2.0 A
	Diameter Ulir Saluran in dan out	11mm
Gelas Ukur	2000ml	
<i>Handphone</i>	<i>Stopwatch</i>	

Perbandingan injeksi *Water Methanol Injection (WMI)* tambahan menggunakan skala *methanol* 30% + air 70%, *methanol* 20% + air 80% serta *methanol* 10% + air 90% dengan engine RPM dalam kondisi putaran pada variasi 1500 RPM, 2000 RPM dan 2500 RPM dengan penggunaan persentase 100% *methanol*.

Setting peralatan data alat *Water Methanol Injection (WMI)* terhadap kadar emisi gas buang CO, CO₂, NO_x dan HC beserta *temperature* di dalam *intake manifold* dari unit *Water Methanol Injection (WMI)* pada *Diesel Engine* 4JB1-TC yang digunakan dalam penelitian akan dijelaskan dengan ilustrasi [Gambar 1](#) dibawah berikut:



Gambar 1. Setting Peralatan Penelitian

Pengujian ini dilaksanakan dengan kondisi kedua roda belakang mobil terangkat secara sempurna dan aman. Saat *Switch* diaktifkan akan menghidupkan Pompa Bahan Bakar Elektrik dan membuka *Solenoid Valve* sehingga campuran *Water Methanol* akan terinjeksi ke dalam *Intake manifold* dan ikut masuk ke ruang bakar bersama udara bertekanan yang dihasilkan oleh *Turbo*. Pada saat dilakukan pengujian akan terdapat *Probe* sebagai sensor untuk mengetahui emisi dari gas buang *Thermocouple* sebagai sensor untuk mengetahui *temperature* di dalam *intake manifold*. Gas yang terkandung pada gas hasil pembakaran akan dapat diketahui dan tertera pada monitor alat *Gas Analyzer* dan *temperature* di dalam *intake manifold* dapat diketahui dan tertera di *LCD Display* pada alat *Temperature e-Monitoring Tool*.

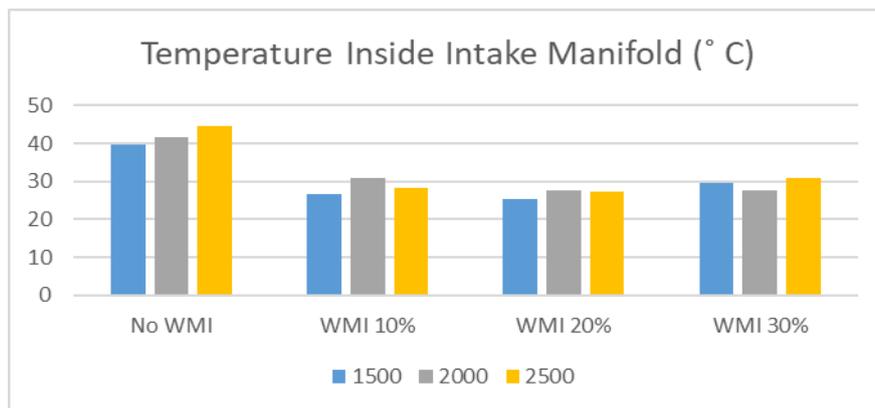
Metode pengolahan data dilakukan melalui eksperimen secara langsung terhadap kendaraan yang menjadi alat uji dengan menggunakan alat ukur *gas analyzer* dan *temperature monitoring tool* untuk menentukan emisi gas buang dan *temperature* di dalam *intake manifold*, sedangkan alat pengambilan data berupa tabel sehingga menghasilkan grafik persentase emisi gas buang dan *temperature* di dalam *intake manifold* pada kendaraan. Pengujian dilakukan selama 30 – 60 detik dan klasifikasi dilakukan dengan menganalisis hasil pengujian emisi gas buang dan *temperature* di dalam *intake manifold* menggunakan variasi campuran air dan *methanol* dengan komposisi *methanol* 30%, 20% dan 10%. Kemudian menggunakan *tools* analisis diproses melalui pengolahan dan analisis data menggunakan persentase nilai rata-rata, uji tes signifikansi data serta analisis menggunakan *tools* SPSS ANOVA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian diperoleh pengujian emisi gas buang dan temperatu *intake manifold* dengan menggunakan sistem komputerisasi yang disajikan dalam tabel dan grafik serta analisis data menggunakan aplikasi IBM SPSS *Statistics Version 23* dalam memperoleh hasil yang lebih spesifik.

Variasi Campuran *Methanol* dan Air Terhadap *Temperature* Didalam *Intake Manifold*

Variasi campuran *water methanol* injection terhadap *temperature intake manifold* memiliki implikasi signifikan terhadap kinerja mesin. Campuran *methanol* dan air yang tepat meningkatkan efisiensi mesin dan mengurangi emisi gas buang. Pengujian variasi campuran *methanol* dan air terhadap *temperature intake manifold* menggunakan alat *Temperature Reader Using a K-Type Thermocouple with the MAX6675 Amplifier with the ESP32 board*. Pengolahan data menggunakan aplikasi *Microsoft Spreadsheet* dalam pengolahan data baku serta menggunakan grafik (*chart*) dalam penyajian tingkat signifikan data.



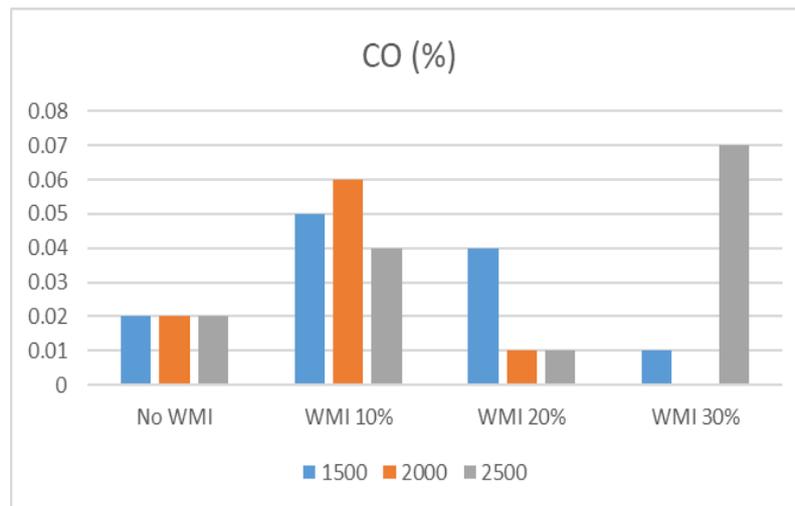
Gambar 2. Grafik Temperature Di Intake Manifold

Pada Gambar 2 pengujian *temperature* di *intake manifold* diperoleh variasi suhu pada tiga tingkat putaran per menit *revolution per minute* (RPM) dengan 1500 RPM, 2000 RPM dan 2500 RPM pada emis gas buang dan *temperature* di di dalam *intake manifold* pada mesin diesel 4JB1-TC. Variasi suhu tersebut diamati dalam berbagai kondisi, termasuk tanpa bahan (No WMI) serta penambahan *methanol* pada konsentrasi 10%, 20%, dan 30% dengan pengujian RPM 1500 hingga 250 mengalami kenaikan suhu secara stabil. Dalam penelitian, terlihat bahwa semakin tinggi RPM pada mesin maka beriringan dengan semakin tingginya suhu mesin. Namun pada variasi *methanol* 30%, terjadi penurunan suhu pada RPM 2000 menjadi 27.75 °C dengan RPM 1500 dengan suhu 29.5 °C yang mengalami penurunan selisih sebesar 1,75 °C. Penurunan suhu di *intake manifold* dengan menggunakan bahan bakar *methanol* 30% dapat terjadi karena kombinasi dari pendinginan, pengaruh *methanol* dan pengaruh putaran mesin.

Secara keseluruhan, grafik menggambarkan bahwa suhu mesin dapat dipengaruhi oleh putaran per menit atau *revolution per minute* (RPM) dan konsentrasi *methanol*. Namun, efeknya tidak selalu linear dan variasi suhu yang kompleks terjadi terjadi pada kondisi spesifik. Dengan pemahaman ini, dapat merancang operasi mesin yang lebih efisien dan optimal dalam berbagai kondisi.

Variasi Campuran *Methanol* dan Air Terhadap Emisi Gas Buang

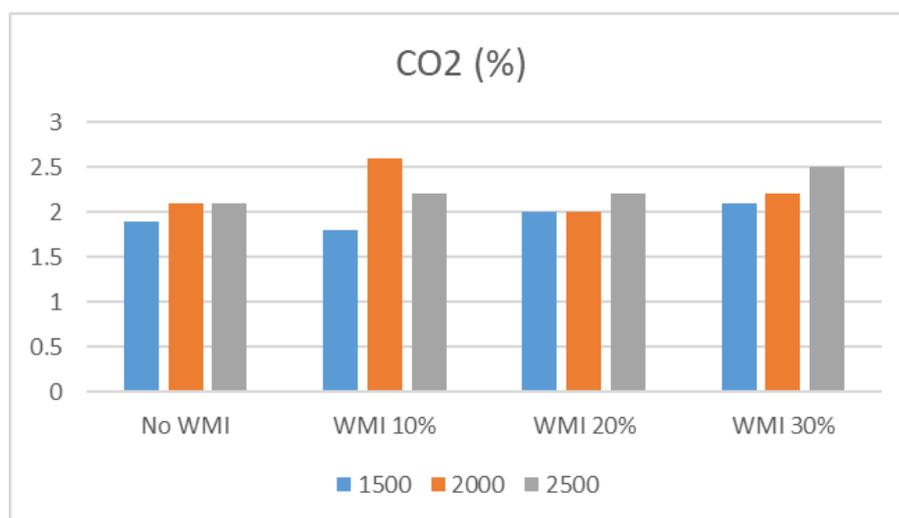
Variasi campuran WMI terhadap emisi gas buang memiliki implikasi atau keterkaitan yang signifikan terhadap kinerja mesin. Dalam pengujian, *electric pump* yang dioperasikan pada kecepatan RPM konstan dengan penambahan variasi NO WMI, *methanol* 10%, *methanol* 20% dan *methanol* 30%. Pengujian variasi campuran *methanol* dan air terhadap emisi gas buang menggunakan alat *HESBON HG-520*.



Gambar 3. Grafik Uji Emisi Gas Buang - Karbonmonoksida (CO)

Pada Gambar 3 uji emisi gas buang karbonmonoksida (CO) menghasilkan data konsentrasi kadar CO (karbon monoksida) pada berbagai tingkat putaran per menit (RPM) mesin dengan empat kondisi yang berbeda tanpa penambahan *methanol* (No WMI) serta dengan penambahan *methanol* pada konsentrasi 10%, 20%, dan 30%. Data menggambarkan perubahan konsentrasi CO pada tiga tingkat RPM yang berbeda yaitu 1500 RPM, 2000 RPM, dan 2500 RPM. Pengujian emisi gas buang CO pada methana 30% dengan RPM 2000 tidak menghasilkan kandungan CO diperoleh 0% karena CO₂ tidak terkait dengan pengujian emisi gas buang CO.

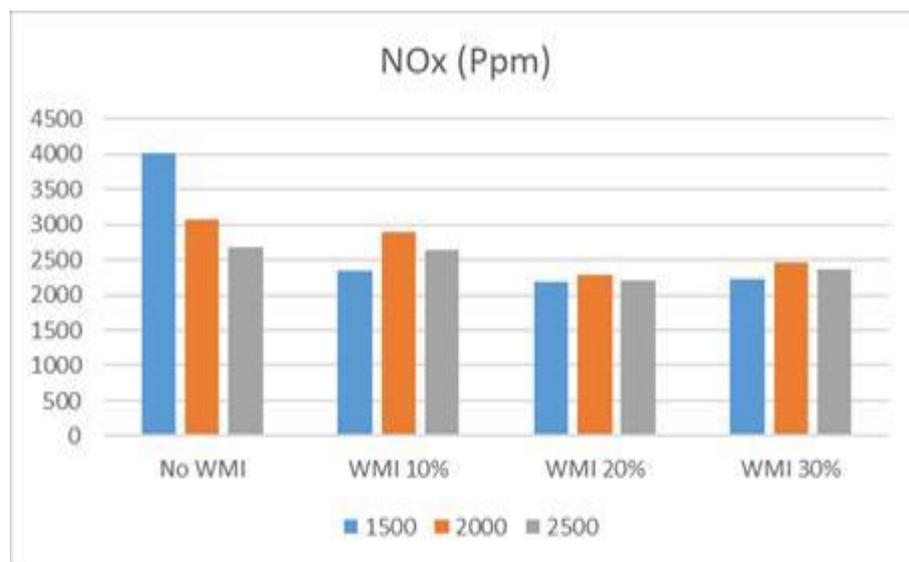
Pengujian emisi gas buang CO melibatkan pengukuran kandungan CO yang dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna, sedangkan CO₂ dihasilkan dari proses pembakaran yang sempurna. Konsentrasi kadar CO dalam sistem mesin sangat dipengaruhi oleh RPM mesin dan konsentrasi awal *methanol*. Penambahan *methanol* pada konsentrasi yang berbeda dapat menghasilkan perubahan konsentrasi yang bervariasi pada RPM yang berbeda. Oleh karena itu, dalam pengaturan mesin, perlu mempertimbangkan baik RPM mesin maupun konsentrasi *methanol* yang digunakan untuk mengoptimalkan efisiensi dan kinerja mesin. Pemahaman ini menjadi penting terutama dalam aplikasi industri yang menggunakan *methanol* sebagai bahan bakar atau bahan kimia dalam proses produksi.



Gambar 4. Grafik Uji Emisi Gas Buang – Karbondioksida (CO₂)

Pada **Gambar 4** uji emisi gas buang karbondioksida (CO_2) pada RPM 1500, konsentrasi kadar CO_2 tanpa penambahan *methanol* (No WMI) adalah 1.9%. Sementara penambahan *methanol* pada konsentrasi 10%, 20%, dan 30% menghasilkan konsentrasi masing-masing sebesar 1.8%, 2%, dan 2.1%. Penambahan *methanol* pada konsentrasi 10% dan 20% menghasilkan konsentrasi CO_2 yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi tanpa penambahan *methanol*. Namun, penambahan *methanol* pada konsentrasi 30% menghasilkan konsentrasi CO_2 yang lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi 20%. Dari data ini, terlihat bahwa konsentrasi CO_2 cenderung meningkat dengan penambahan *methanol* pada semua konsentrasi yang diuji, tetapi perubahan konsentrasi tidak selalu linier. Perubahan konsentrasi CO_2 yang tidak selalu linier dapat disebabkan oleh beberapa faktor pengaruh *temperature*, pengaruh kecepatan mesin, serta pengaruh kualitas bahan bakar.

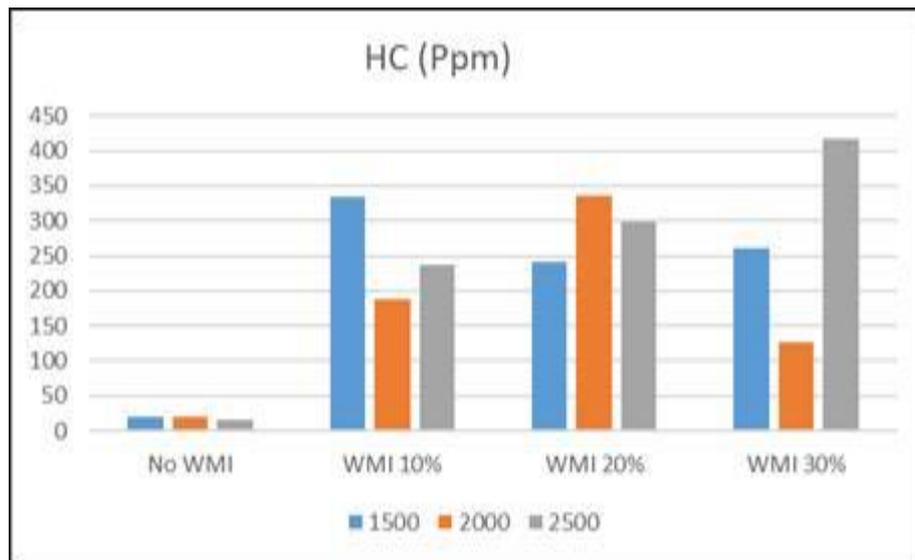
Konsentrasi kadar CO_2 dalam sistem mesin sangat dipengaruhi oleh RPM mesin dan konsentrasi awal *methanol*. Penambahan *methanol* pada konsentrasi yang berbeda dapat menghasilkan perubahan konsentrasi yang bervariasi pada RPM yang berbeda. Oleh karena itu, dalam pengaturan mesin, perlu mempertimbangkan baik RPM mesin maupun konsentrasi *methanol* yang digunakan untuk mengoptimalkan efisiensi dan kinerja mesin serta mengendalikan emisi CO_2 dalam aplikasi industri atau kendaraan yang menggunakan *methanol* sebagai bahan bakar.



Gambar 5. Grafik Uji Emisi Gas Buang - Nitrooksida (NO_x)

Pada **Gambar 5** Data konsentrasi NO_x menunjukkan bahwa penambahan *methanol* pada konsentrasi 10% dan 20% menghasilkan konsentrasi NO_x yang lebih rendah dibandingkan dengan No WMI. Namun, penambahan *methanol* pada konsentrasi 30% tidak menghasilkan perubahan konsentrasi NO_x yang signifikan dibandingkan dengan No WMI. Perubahan konsentrasi NO_x tidak selalu linier dengan penambahan *methanol*, dan perubahan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti pengaruh temperatur, kecepatan mesin, dan kualitas bahan bakar.

Konsentrasi NO_x dalam mesin sangat dipengaruhi oleh RPM mesin dan konsentrasi *methanol*. Penambahan *methanol* pada konsentrasi yang berbeda dapat memiliki dampak yang bervariasi pada konsentrasi NO_x dalam mesin pada RPM yang berbeda. Pemahaman ini penting dalam upaya mengendalikan emisi NO_x dalam aplikasi mesin dan mengoptimalkan efisiensi pembakaran.



Gambar 6. Grafik Uji Emisi Gas Buang – Hidrokarbon (HC)

Pada Gambar 6 uji emisi gas buang hidrokarbon (HC) pada tingkat RPM 1500, konsentrasi HC tanpa penambahan *methanol* adalah 20 ppm. Namun, ketika *methanol* ditambahkan pada konsentrasi 10%, terjadi peningkatan signifikan konsentrasi HC menjadi 333 ppm. Penambahan 20% konsentrasi *methanol* menghasilkan penurunan konsentrasi HC menjadi 242 ppm dan konsentrasi 30%, konsentrasi HC sedikit meningkat menjadi 260 ppm. Pada RPM 2000, konsentrasi HC tanpa penambahan *methanol* adalah 20 ppm. Ketika *methanol* ditambahkan pada konsentrasi 10%, konsentrasi HC menurun menjadi 187 ppm. Penambahan *methanol* konsentrasi 20% mengalami peningkatan konsentrasi HC menjadi 336 ppm pada konsentrasi 30%, konsentrasi HC jatuh drastis menjadi 126 ppm. Tingkat RPM 2500, konsentrasi HC tanpa penambahan *methanol* adalah 15 ppm. Ketika *methanol* ditambahkan pada konsentrasi 10%, konsentrasi HC meningkat menjadi 237 ppm. Penambahan 20% *methanol* menghasilkan peningkatan konsentrasi HC menjadi 298 ppm dan pada 30%, konsentrasi HC kembali meningkat tajam menjadi 416 ppm.

Konsentrasi HC dalam mesin dipengaruhi oleh RPM mesin dan konsentrasi *methanol*. Penambahan *methanol* di konsentrasi berbeda memiliki dampak signifikan terhadap performa mesin pada RPM yang berbeda. Oleh karena itu, pemahaman ini penting dalam mengendalikan emisi HC dalam aplikasi mesin dan dalam upaya mengoptimalkan efisiensi pembakaran serta pengurangan emisi polutan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil yang diperoleh melalui hasil uji emisi gas buang karbonmonoksida (CO) didapatkan variasi konsentrasi *methanol* terendah pada konsentrasi 30% *methanol* dengan 0% emisi gas buang pada pengujian 2000 RPM. Sedangkan tingkat tertinggi berapa pada variasi konsentrasi 30% *methanol* dengan nilai 0.07% emisi pada pengujian 2500 RPM. Karbonmonoksida (CO₂) didapatkan emisi terendah pada konsentrasi 10% *methanol* dengan nilai 1.80% pada pengujian 1500 RPM. Sedangkan nilai emisi paling tinggi berapa pada variasi konsentrasi 10% *methanol* dengan nilai 2.60 % pada pengujian 2000 RPM. Nitrooksida (NO_x) hasil uji emisi terendah pada konsentrasi 20% *methanol* dengan nilai 2179 Ppm pada pengujian 1500 RPM. Sedangkan hasil uji emisi tertinggi berapa pada variasi konsentrasi No WMI *methanol* dengan nilai 4011 Ppm pada pengujian 1500 RPM. Hidrokarbon (HC) hasil uji emisi terendah pada konsentrasi No WMI *methanol* dengan nilai 15 Ppm pada pengujian 2500 RPM. Sedangkan hasil uji emisi tertinggi

berapa pada variasi konsentrasi 30% *methanol* dengan nilai 416 Ppm pada pengujian 2500 RPM.

Variasi campuran air dan *methanol* terhadap *temperature* udara di dalam *intake manifold* pada mesin diesel 4JB1-TC diperoleh nilai hasil uji *temperature* paling rendah pada variasi 20% *methanol* dengan 25.25 °C pada 1500 RPM. Sedangkan, hasil uji *temperature* paling tinggi pada variasi No WMI dengan *temperature* 44.5 °C pada 2500 RPM. Dalam penelitian ini, terlihat bahwa semakin tinggi RPM pada mesin maka beriringan dengan semakin tingginya suhu mesin. Namun pada variasi *methanol* 30%, terjadi penurunan suhu pada RPM 2000 menjadi 27.75 °C dengan RPM 1500 dengan suhu 29.5 °C yang mengalami penurunan selisih sebesar 1,75 °C. Penurunan suhu di *intake manifold* dengan menggunakan bahan bakar *methanol* 30% dapat terjadi karena kombinasi dari pendinginan, pengaruh *methanol* dan pengaruh putaran mesin.

Saran

Peneliti menganjurkan pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengembangan pada *nozzle injector* agar dapat terjadi pengabutan yang lebih sempurna pada campuran *Water Methanol Injection* (WMI), sehingga dapat terjadi proses pembakaran yang lebih sempurna. Kedua perlu dilakukan modifikasi sudut *mounting injector* agar arah penyemprotan *Water Methanol Injection* (WMI) dapat lebih sejajar dengan arah aliran udara yang akan masuk kedalam ruang bakar.

Selain itu juga perlu menambahkan kontroler elektronik untuk mengatur waktu penyemprotan *injector* agar *injector* aktif bersamaan dengan waktu pembukaan *intake valve* sehingga penggunaan campuran *Water Methanol Injection* (WMI) bisa lebih hemat dan tidak terjadi penumpukan campuran *Water Methanol Injection* (WMI) ketika *intake valve* tertutup.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Winarno, "Studi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermesin Bensin Pada Berbagai Merk Kendaraan Dan Tahun Pembuatan," vol. I, no. 1, pp. 1-19, 2014.
- [2] K. M, D. S, H. M, H. E, A. H and M. R, "Investigating the influence of water injection on the emissions of a diesel engine," Jurnal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES), vol. 10, no. 1, pp. pp. 1863-1881, June 2016.
- [3] J. Prien and P. Rodeike, Messerschmitt Bf 109 Seri F, G, K. An Illustrated Study, 2004.
- [4] B. A, "Water Injection in Directly Injected Turbocharged Spark Ignition Engines," Appl Therm Eng, vol. 52, no. 1, pp. 62-68, 2013.
- [5] D. T, "Injeksi Air," 2016.
- [6] C. C. Chen and K. Osman, "Cultivating Marginalized Children's Scientific Literacy in Facing the Challenges of the 21st Century," K-12 STEM Education, vol. 3, no. 1, pp. 167-177, 2017.
- [7] M. A. S, "Perancangan Water Methanol Injection Untuk Mesin Honda K24Z2 Menggunakan Arduino," Electric Engineering, 2019.
- [8] K. J, P. H, B. C and C. M, "Effects of Water Direct Injection on the Torque Enhancement and Fuel Consumption Reduction of a Gasoline Engine Under High-Load Conditions," Int. J Engine Res., pp. 1-14, 1015.
- [9] B. D. B. H, C. Landerl, J. Poggel, C. Schwarz and W. Kleczka, BMW water injection: Initial Experience and Future Potentials, 2017.
- [10] A. R. A and M. M. J, "Effects of Direct Water Injection and Injector Configurations on Performance and Emission Characteristics of a gasoline direct injection engine: A Computational Fluid Dynamics Analysis," Int. J. Engine Res., vol. 21, no. 8, pp. 1520-1540, 2020.
- [11] S. Zhu et al, "A Review of Water Injection Applied on the Internal Combustion Engine,," Energy Convers, 2019.

- [12] Siswanto, Lagiyono and Siswiyanti, "Analisa Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor 4 Tak Berbahan Bakar Campuran Premium Dengan Variasi Penambahan Zat Aditif," 2016.
- [13] H. Wardono, "Modul Pembelajaran Motor Bakar 4-Langkah," 4.

Halaman ini sengaja dikosongkan