

PENGARUH CAMPURAN METANOL 35% DAN 40% PADA GASOLINE RON 90 TERHADAP EMISI GAS BUANG MENGGUNAKAN SISTEM DUAL INJEKSI MOTOR BAKAR 4-LANGKAH

Roy Achmad Saputra¹, Riswan Sepriyatno², Akhmad Faruq Alhikami³

¹program studi Teknik mesin, universitas islam malang,

e-mail: mguntur486@gmail.com

²program studi Teknik mesin, universitas islam malang,

e-mail: riswansepriyatno@unisma.ac.id

³program studi Teknik mesin, universitas islam malang,

e-mail: alhikami@unisma.ac.id

Jl. MT. Haryono 193 Malang 65114, Indonesia

Abstrak

Transportasi memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam mendukung pergerakan manusia serta memperkuat kegiatan ekonomi. Di balik perannya yang penting, sektor transportasi juga berkontribusi secara signifikan terhadap pencemaran udara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak penambahan metanol dengan berbagai variasi pada gasoline RON 90, menggunakan motor bakar 4-langkah dengan menerapkan sistem *dual* injeksi terhadap profil emisi gas buang. Metode yang digunakan yaitu eksperimen dilakukan dengan variasi metanol 0%, 35%, dan 40% pada putaran mesin *idle*, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 rpm. Parameter yang dianalisis meliputi emisi CO, HC, CO₂, *Air-Fuel Ratio*, dan *equivalence ratio*. Analisis menunjukkan bahwa penambahan metanol 35% dan 40% menurunkan emisi HC sebesar 43% dan 51%, serta CO sebesar 23% dan 39%, sedangkan emisi CO₂ meningkat 12% dan 21%. Perubahan AFR dan *equivalence ratio* menunjukkan pembakaran lebih mendekati kondisi ideal. Sistem *dual* injeksi dengan metanol efektif menurunkan emisi CO dan HC serta meningkatkan kesempurnaan pembakaran.

Kata kunci: Metanol, Motor Bakar 4-Langkah, Sistem *Dual* injeksi, Emisi Gas Buang, Gasoline RON 90

Abstract

Transportation plays a crucial role in daily life, particularly in facilitating human mobility and bolstering economic activity. However, alongside this vital role, the transportation sector is a significant contributor to air pollution. This study aims to investigate the impact of adding varying proportions of methanol to RON 90 gasoline on exhaust emission profiles, utilizing a four-stroke internal combustion engine equipped with a dual-injection system. The experimental method involved testing methanol blends of 0%, 35%, and 40% at engine speeds ranging from idle to 6,000 rpm (specifically: idle, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000, and 6,000 rpm). The parameters analyzed included CO, HC, and CO₂ emissions, as well as the air-fuel ratio (AFR) and equivalence ratio. The analysis revealed that the addition of 35% and 40% methanol reduced HC emissions by 43% and 51% and CO emissions by 23% and 39%, respectively, while CO₂ emissions increased by 12% and 21%. Changes in the AFR and equivalence ratio indicated that combustion conditions moved closer to the ideal state. The dual-injection system utilizing methanol proved effective in reducing CO and HC emissions and enhancing combustion efficiency.

Keywords: Methanol, 4-Stroke Internal Combustion Engine, Dual Injection System, Exhaust Gas Emission, Gasoline RON 90

1. PENDAHULUAN

Transportasi memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari di Indonesia, terutama dalam mendukung pergerakan manusia serta memperkuat kegiatan ekonomi nasional [1]. Industri otomotif saat ini sedang gencar-gencarnya mengembangkan kendaraan berkompresi

tinggi untuk meningkatkan potensi pengurangan emisi gas buang. Kendaraan yang berkompresi tinggi memungkinkan pembakaran lebih efisien dengan rasio tekanan dan temperatur ruang bakar yang meningkat. Sehingga dapat menurunkan emisi gas buang terutama jika bahan bakar

Penggunaan bahan bakar fosil secara berkelanjutan akan mengurangi dan bahkan menghabiskan cadangan minyak dunia, di mana saat ini ada kecenderungan serta tekanan internasional untuk beralih ke bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan dapat diperbaharui [3].

Untuk mengatasi tantangan tersebut sistem *Dual injection* atau *two-stage injection* dikembangkan sebagai solusi teknis. Sistem ini membagi aliran bahan bakar menjadi dua fase atau dua jenis injeksi misalnya injeksi *port* untuk bahan bakar utama (*Gasoline* RON 90) dan injeksi langsung untuk bahan bakar aditif (metanol) sehingga dapat mengoptimalkan proses pembakaran dalam berbagai kondisi beban mesin [6], penyesuaian waktu dan rasio injeksi metanol sangat penting dalam mengontrol sifat pembakaran dan stabilitas fase bahan bakar. Hal ini mengindikasikan bahwa penentuan waktu injeksi metanol (MIT) yang tepat dapat mempercepat waktu pembakaran dan meningkatkan efisiensi volumetrik tanpa secara signifikan meningkatkan emisi NO_x [7].

rendah untuk mesin pembakaran 4 langkah jenis DOHC maupun SOHC. Pemahaman mendalam tentang keterkaitan antara karakteristik fisik-kimia bahan bakar, dinamika pemisahan fase, dan pendekatan injeksi ganda akan mendukung pengembangan sistem bahan bakar yang efisien, stabil, dan berkelanjutan, Studi ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih lengkap mengenai bahan bakar alternatif dan dampaknya terhadap emis gas buang serta masalah lingkungan.

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium guna mengetahui secara langsung dampak variasi campuran *Gasoline* RON 90 dan Methanol terhadap emisi gas buang menggunakan sistem dual injeksi pada sepeda motor 4-langkah Suzuki Satria F150 tahun 2013.



Dalam penelitian ini, analisis pembakaran didasarkan pada tiga parameter utama: nilai AFR stoikiometri, AFR aktual, dan rasio kesetaraan udara-bahan bakar (*Equivalence Ratio*). Ketiga parameter ini saling terhubung dalam menggambarkan kualitas pembakaran pada mesin, Yang nantinya akan dibandingkan dengan data hasil pengujian emisi gas buang yang diperoleh dari dua kondisi yang berbeda, yaitu penggunaan bahan bakar Gasoline RON 90 dan penambahan etanol sebanyak 0%, 35% dan 40% serta kandungan emisi CO, HC, dan CO₂.

14

1. Equivalence Ratio

Equivalence ratio (ϕ) adalah perbandingan dari rasio *AFR* teoritis/stoikiometri terhadap *AFR* aktualnya, Nilai *Equivalence Rasio* (ϕ) menunjukkan isi kombinasi antara udara dan bahan bakar. Jika $\phi > 1$, maka termasuk campuran kaya di mana proporsi bahan bakar lebih banyak dibandingkan dengan udara. Jika $\phi = 1$, maka disebut campuran stoikiometri atau campuran udara-bakar yang sempurna.

$$\phi = \frac{(AFR) \text{ stoikiometri}}{(AFR) \text{ aktual}}$$

2. Air Fuel-Ratio

Air-Fuel-Ratio (AFR) adalah perbandingan antara massa oksigen/udara yang dibutuhkan dan massa bahan bakar untuk proses pembakaran. AFR didefinisikan sebagai berikut:

$$AFR = \frac{ma}{mf} = \frac{ma}{mf}$$

Dimana :

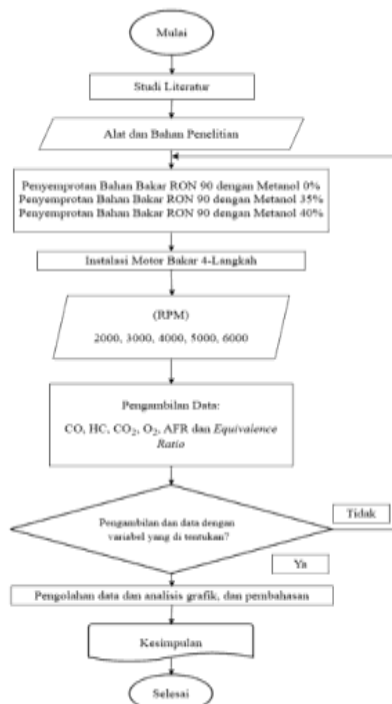
ma = massa udara

mf = massa bahan bakar

ma = massa alir udara

mf = massa alir bahan bakar

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



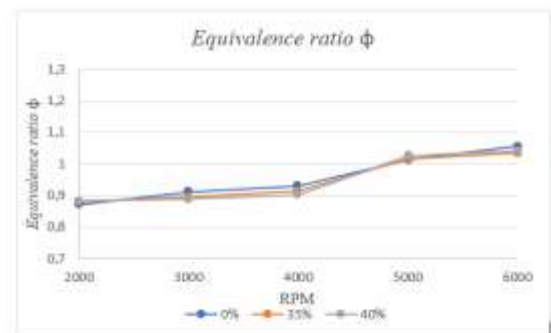
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Equivalence ratio ϕ

Tabel 1: Hasil perhitungan *Equivalence ratio* ϕ

Engine Speed (RPM)	<i>Equivalence Ratio</i> ϕ		
	Gasoline Murni	Campuran 35%	Campuran 40%
2000	0,871	0,881	0,882
3000	0,911	0,895	0,889
4000	0,930	0,912	0,901
5000	1,013	1,015	1,024
6000	1,054	1,034	1,039

Dari tabel hasil perhitungan rasio kesetaraan udara dan bahan bakar (*Equivalence Ratio*), diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai *Equivalence Ratio* dengan putaran mesin pada berbagai kondisi RPM. Grafik ini akan membantu memperjelas pola variasi rasio kesetaraan, sehingga membuat analisis mengenai dampak dan rotasi mesin pada campuran udara dan bahan bakar yang dipakai dalam proses pembakaran menjadi lebih mudah.



Gambar 2: Grafik *Equivalence Ratio*

Berdasarkan Grafik *Equivalence Ratio*, bahan bakar 0%, 35%, dan 40% berada di bawah 1 pada RPM (2000-4000), yang menunjukkan bahwa campuran udara-bahan bakar cenderung ramping, artinya lebih banyak udara dibandingkan bahan bakar. Namun pada RPM tinggi seperti (5000 dan 6000) yang mendekati stoikiometri atau pembakaran ideal, bahan bakar yang terdiri dari campuran 0%, 35%, dan 40% metanol memperoleh Nilai *Equivalence Ratio* yang lebih mendekati stoikiometri, terutama pada rpm tinggi. Pada 5000 rpm, nilai *equivalence Ratio* pada gasoline murni lebih rendah dibandingkan campuran metanol. Pada 5000 dan 6000 rpm, setiap variasi persentase rasio kesetaraan cenderung mengalami sedikit peningkatan di atas 1. Ini menunjukkan bahwa meskipun durasi pembakaran lebih singkat pada rpm

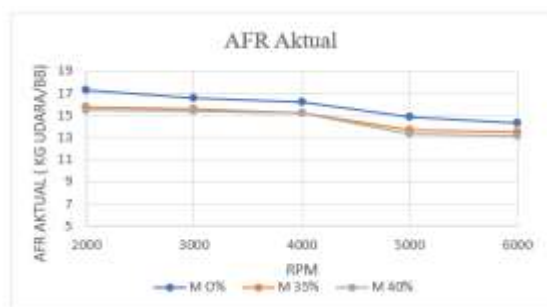
tinggi, metanol masih berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi proses pembakaran dengan memberikan tambahan oksigen.

2. Nilai AFR Aktual terhadap stoikiometri

Tabel 2: AFR Aktual terhadap stoikiometri

Engine Speed (RPM)	AFR Aktual (Kg udara/kg bahan bakar)		
	Gasoline Murni	Campuran 35%	Campuran 40%
2000	17,2	15,7	15,4
3000	16,5	15,5	15,3
4000	16,1	15,2	15,1
5000	14,8	13,7	13,3
6000	14,2	13,4	13,1

Dari tabel hasil perhitungan nilai AFR aktual di atas, dapat dihasilkan grafik hubungan antara nilai AFR aktual terhadap AFR Stoikiometri dengan berbagai putaran mesin.

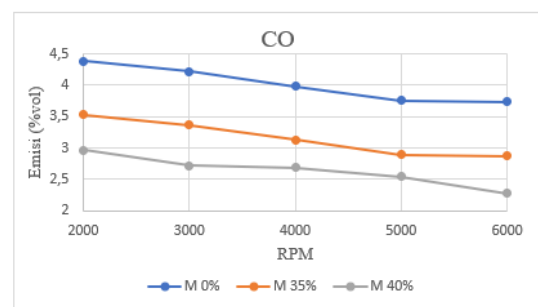


Gambar 3: Grafik AFR Aktual

Berdasarkan grafik AFR Aktual, pada bahan bakar *gasoline* murni, nilai AFR cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar yang mengandung 35% dan 40% metanol pada seluruh rentang rpm. Di 5000 rpm nilai AFR aktual tanpa campuran berada di atas nilai stoikiometri metanol, sedangkan untuk campuran gasoline, nilai AFR aktual mendekati stoikiometri untuk metanol. Nilai AFR saat ini menunjukkan tren penurunan yang selaras dengan peningkatan kecepatan mesin, baik dengan bahan bakar tanpa campuran maupun yang mengandung metanol. Pada putaran tinggi seperti 5000 dan 6000 RPM, nilai AFR biasanya berkurang di bawah nilai stoikiometri pada setiap persentase. Namun AFR tanpa campuran metanol nilainya cenderung tinggi, sementara pada campuran metanol nilainya lebih rendah dan semakin banyak menghabiskan bahan bakar. Penurunan AFR pada bahan bakar yang mengandung metanol menunjukkan bahwa kandungan oksigen dari metanol berpengaruh pada rasio udara terhadap bahan bakar yang membantu proses pembakaran,

dan akibat dari putaran mesin pada RPM tinggi membuat proses pembakaran lebih singkat, sehingga lebih banyak bahan bakar yang dikeluarkan belum teroksidasi dengan sempurna. Selain itu, nilai AFR yang lebih rendah pada bahan bakar campuran metanol menunjukkan bahwa rasio pencampuran bahan bakar lebih besar dibandingkan dengan gasoline murni, yang membantu dalam meningkatkan proses pembakaran yang lebih sempurna.

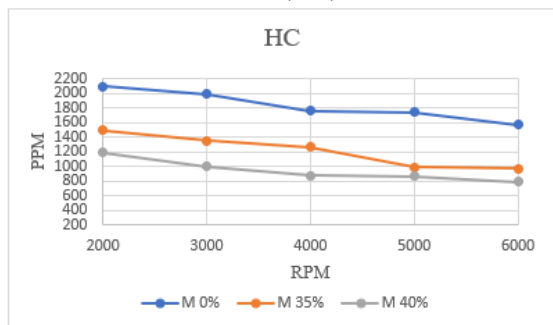
Emisi Karbon Monoksida (CO)



Gambar 4: Grafik Emisi Karbon Monoksida (CO)

Berdasarkan grafik, Pengaruh RPM terhadap penurunan kandungan emisi CO seiring bertambahnya RPM dikarenakan, adanya peningkatan aliran udara dan bahan bakar yang terjadi di ruang bakar sehingga pembakaran lebih merata dan waktu pembakaran menjadi lebih singkat, yang mengakibatkan pembentukan CO semakin berkurang. Penurunan CO terjadi karena metanol mengandung oksigen yang memperbaiki proses pembakaran sehingga karbon lebih banyak teroksidasi menjadi CO₂ dibandingkan CO. Metanol memiliki angka oktan yang tinggi sehingga membuat pembakaran menjadi lebih stabil. Pada bahan bakar murni M0%, emisi CO mencapai nilai tertinggi, yaitu sekitar 4,4% vol pada 2000 RPM dan menurun menjadi 3,7% vol pada 6000 RPM, sedangkan campuran M35% menghasilkan emisi yang lebih rendah kisaran 3,5–2,9% vol dan M40% menghasilkan emisi terendah sekitar 3,0–2,3% vol. Maka perbandingan penurunan kandungan emisi CO M35% terhadap M0% sekitar 19-23% lebih rendah, dan pada M40% terhadap M0% sekitar 32-39% lebih rendah seiring bertambahnya RPM.

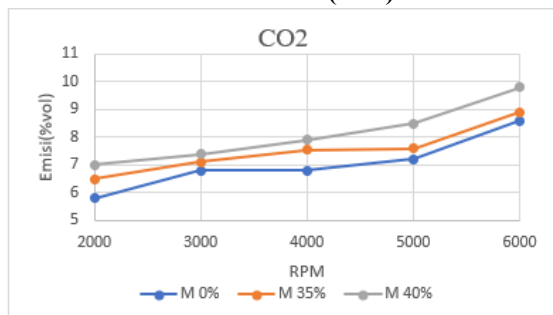
3. Emisi Hidrokarbon (HC)



Gambar 5: Grafik Emisi Hidrokarbon (HC)

Menurut grafik hasil pengujian, Pengaruh RPM terhadap penurunan kandungan emisi HC seiring bertambahnya putaran mesin dikarenakan, adanya peningkatan aliran udara dan bahan bakar yang terjadi di ruang bakar sehingga pembakaran lebih merata dan homogen, Adanya penurunan HC terjadi karena metanol mengandung oksigen yang memperbaiki proses pembakaran serta menjadikan bahan bakar lebih homogen, Selain itu metanol memiliki angka oktan yang tinggi sehingga membuat pembakaran menjadi lebih stabil. Pada bahan bakar murni M0%, emisi HC mencapai nilai tertinggi, yaitu sekitar 2.100 ppm pada 2000 RPM dan menurun menjadi 1.600 ppm pada 6000 RPM, sedangkan campuran M35% menghasilkan emisi yang lebih rendah kisaran 1600–950 ppm dan M40% menghasilkan emisi terendah sekitar 1.200-800 ppm. Maka perbandingan penurunan kandungan emisi HC M35% terhadap M0% sekitar 29-43% lebih rendah, dan pada M40% terhadap M0% sekitar 43-51% lebih rendah seiring bertambahnya RPM.

4. Emisi Karbon Dioksida (CO₂)



Gambar 6: Grafik Emisi Karbon Dioksida (CO₂)

Grafik hasil pengujian emisi karbon dioksida (CO₂) menunjukkan bahwa pada semua variasi bahan bakar (M0%, M35%, dan M40%), emisi CO₂ meningkat secara konsisten seiring dengan bertambahnya putaran mesin, dari 2000

RPM hingga 6000 RPM. Peningkatan ini disebabkan oleh meningkatnya putaran mesin, yang menyebabkan aliran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar juga meningkat, sehingga proses pencampuran udara-bahan bakar menjadi lebih intensif dan turbulensi dalam silinder juga semakin besar. Keadaan ini mendorong proses pembakaran terjadi dengan lebih merata dan mendekati kesempurnaan, sehingga lebih banyak atom karbon (C) teroksidasi sepenuhnya menjadi CO₂, bukan berhenti pada tahap oksidasi parsial sebagai CO, Adanya peningkatan kandungan emisi CO₂ dari hasil pengujian, Pada campuran M35% menunjukkan peningkatan emisi CO₂ sekitar 3,5–12% dibandingkan M0%, dengan peningkatan terbesar terjadi pada 2000 RPM (dari 5,8% menjadi 6,5%) dan terkecil pada 6000 RPM (dari 8,6% menjadi 8,9%). Sementara itu, campuran M40% menunjukkan peningkatan lebih besar, sekitar 9–21% dibandingkan M0%, dengan peningkatan tertinggi pada 2000 RPM (dari 5,8% menjadi 7%) dan tetap signifikan pada 6000 RPM (dari 8,6% menjadi 9,8%). Secara keseluruhan, semakin besar persentase metanol yang ditambahkan, semakin tinggi pula peningkatan emisi CO₂ yang dihasilkan pada setiap putaran mesin, yang menunjukkan bahwa penambahan metanol secara konsisten mendorong proses pembakaran agar lebih sempurna.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini yang memanfaatkan penambahan metanol pada gasoline RON 90 dengan sistem dual injeksi pada mesin 4-langkah terhadap profil emisi yang dihasilkan pada pembakaran dari mesin Satria FU 150 CC, dengan berbagai kecepatan putaran mesin bahwa;

Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan sistem *dual* injeksi menjadi solusi efektif untuk mencampurkan bahan bakar metanol dan Gasoline RON 90 tanpa mengalami masalah pemisahan fase yang umumnya terjadi pada metode pencampuran langsung di dalam tangki bahan bakar, sebab pencampuran berlangsung di *intake manifold* sehingga homogenitas campuran bahan bakar tetap terjaga, dan berkat homogenitas tersebut penambahan metanol pada Gasoline RON 90 mampu menurunkan kandungan emisi gas buang Hidrokarbon (HC) hingga 43% pada penambahan 35% metanol dan hingga 51% pada penambahan 40% metanol, serta menurunkan emisi Karbon Monoksida (CO) hingga 23% pada penambahan

35% metanol dan hingga 39% pada penambahan 40% metanol, bahkan pada kondisi idle gasoline murni (M0%) belum memenuhi standar mutu emisi SNI 19-7118.3-2005 untuk CO dan HC, sedangkan campuran M35% dan M40% berhasil memenuhi standar tersebut, sementara di sisi lain penambahan metanol justru menyebabkan kenaikan pada emisi Karbon Dioksida (CO₂) hingga 12% pada penambahan 35% metanol dan hingga 21% pada penambahan 40% metanol, yang diakibatkan oleh kandungan oksigen di dalam metanol yang memungkinkan pengoksidasian bahan bakar di dalam ruang bakar terkonversi lebih banyak menjadi gas karbon dioksida sehingga kenaikan ini justru menandakan proses pembakaran yang semakin sempurna, hal ini juga didukung oleh nilai *Air-fuel ratio* (AFR) dan *Equivalence ratio* yang juga memperlihatkan perubahan seiring meningkatnya persentase metanol, di mana nilai AFR aktual cenderung menurun dan *Equivalence Ratio* semakin mendekati kondisi stoikiometri, karena kandungan oksigen dalam metanol membantu campuran udara dan bahan bakar lebih mendekati kondisi pembakaran yang ideal.

SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penambahan metanol 0%, 35%, dan 40% dengan menggunakan sistem dual injeksi sebagai solusi untuk memisahkan fase campuran metanol dan gasoline RON 90, bertujuan mengurangi emisi gas buang, Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

Disarankan untuk meneliti dampak penggunaan metanol pada bagian sistem dual injeksi bahan bakar, seperti injektor dan pompa bahan bakar, guna mengetahui seberapa tahan material terhadap penggunaan metanol berkadar tinggi, mengingat sifat metanol cenderung korosif terhadap logam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukarno, I., Matsumoto, H., & Susanti, L. (2016). Transportation energy consumption and emissions - a view from city of Indonesia. *Future Cities and Environment*, 2(0), 6. <https://doi.org/10.1186/s40984-016-0019-x>
- [2] Purnomo, B. C., Widodo, N., Munahar, S., Setiyo, M., & Waluyo, B. (2017). Karakteristik Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar LPG untuk Mesin Bensin Single Piston. *The 6th University Research Colloquium 2017 Universitas Muhammadiyah Magelang Karakteristik*, 7–12. <https://doi.org/10.31603/ae.v2i1.2632>
- [3] Sinaga, N., & Rifal, M. (2017). Pengaruh Komposisi Bahan Bakar Metanol-Bensin Terhadap Torsi Dan Daya Sebuah Mobil Penumpang Sistem Injeksi Elektronik 1200 CC. *Rotasi*, 19(3), 147. <https://doi.org/10.14710/rotasi.19.3.147-155>
- [4] Sanjaya, F. L., & Syarifudin, S. (2020). Konsumsi Bahan Bakar Dan Emisi Gas Buang Mesin Motor 100 cc Berbahan Bakar Premium Dan Metanol. *Nozzle: Journal Mechanical Engineering*, 9(2), 38–40. <https://doi.org/10.30591/nozzle.v9i2.2261>
- [5] Martin, A., & O'malley, J. (2021). Kompatibilitas campuran bahan bakar metanol pada kendaraan dan mesin berbahan bakar bensin di Indonesia. *The International Council on Clean Transportation*.
- [6] Liu, H., Wang, Z., Long, Y., Xiang, S., Wang, J., & Wagnon, S. W. (2015). Methanol-gasoline Dual-fuel Spark Ignition (DFSI) combustion with dual-injection for engine particle number (PN) reduction and fuel economy improvement. *Energy*, 89, 1010–1017. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.051>
- [7] Chen, Z., Chen, H., Wang, L., Geng, L., & Zeng, K. (2020). Parametric study on effects of excess air/fuel ratio, spark timing, and methanol injection timing on combustion characteristics and performance of natural gas/methanol dual-fuel engine at low loads. *Energy Conversion and Management*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112742>