

## ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN WATER INJECTION SISTEM PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH TERHADAP KINERJA MESIN

Ferda Hadi Amanda<sup>1</sup>, Joko Setiyono<sup>2</sup>

Universitas Pamulang, Tangerang Selatan

e-mail: <sup>1</sup>ferdahr09@gmail.com, <sup>2</sup>dosen00889@unpam.ac.id

**Abstract:** *This study aims to analyze the effect of adding a water injection system to a four-stroke internal combustion engine on engine performance, exhaust emissions, and fuel consumption efficiency. The experimental method was conducted by comparing engine conditions before and after the installation of water injection at a water flow rate of 15 ml/s. The results showed that the use of water injection improved engine performance, where torque increased from 14.60 Nm to 15.09 Nm and power from 11.38 hp to 12.07 hp. Furthermore, exhaust emissions were reduced, with CO decreasing from 4.86 ppm/vol to 3.89 ppm/vol and HC from 469 ppm/vol to 209 ppm/vol. These values remain well below the Euro 2 regulation limits (CO 5.5 ppm/vol and HC 2200 ppm/vol), making the system more environmentally friendly. In terms of fuel consumption, water injection significantly improved efficiency, where 1 liter of fuel that previously covered 59 km increased to 73 km, resulting in a 23% efficiency gain. Overall, the application of the water injection system proved to enhance engine performance, reduce emissions, and improve fuel consumption efficiency.*

**Keyword:** *Water injection, four-stroke engine, engine performance, exhaust emissions, fuel efficiency.*

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan sistem water injection pada motor bakar 4 langkah terhadap kinerja mesin, emisi gas buang, serta efisiensi konsumsi bahan bakar. Metode pengujian dilakukan dengan membandingkan kondisi mesin sebelum dan sesudah pemasangan water injection pada debit air 15 ml/detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan water injection mampu meningkatkan kinerja mesin, di mana torsi awal sebesar 14,60 Nm dan daya 11,38 hp meningkat menjadi 15,09 Nm dan 12,07 hp. Selain itu, terjadi penurunan kadar emisi gas buang, yaitu CO dari 4,86 ppm/vol menjadi 3,89 ppm/vol dan HC dari 469 ppm/vol menjadi 209 ppm/vol. Nilai ini masih berada di bawah ambang batas regulasi Euro 2 (CO 5,5 ppm/vol dan HC 2200 ppm/vol), sehingga lebih ramah lingkungan. Dari sisi konsumsi bahan bakar, water injection memberikan penghematan signifikan, di mana 1 liter bahan bakar yang sebelumnya menempuh jarak 59 km meningkat menjadi 73 km, dengan efisiensi penggunaan sebesar 23%. Secara keseluruhan, penerapan sistem water injection terbukti mampu meningkatkan performa mesin, menurunkan emisi, serta meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar.

**Kata kunci:** Water injection, motor bakar 4 langkah, kinerja mesin, emisi gas buang, efisiensi bahan bakar.

### PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di perkotaan menyebabkan konsumsi bahan bakar fosil dan emisi gas buang semakin tinggi. Kondisi ini menimbulkan permasalahan serius seperti polusi udara, pemanasan global, dan

kelangkaan energi sehingga mendorong perlunya inovasi teknologi ramah lingkungan (Kahnouji & Yazdani, 2021). Upaya global dilakukan melalui penerapan standar emisi, seperti EURO di Eropa, serta pengembangan teknologi mesin pembakaran internal yang lebih efisien (Ayhan, 2020; Cao, Hoang, Luu,

Bui, & Tran, 2020; Chaniago, Purwanto, Rifdarmon, & Arif, 2023; Golzari et al., 2021; Kang, Feng, Lv, Wu, & Wu, 2021; Noval et al., 2012).

Salah satu strategi yang banyak diteliti adalah water injection, yaitu penyuntikan air ke dalam mesin baik secara langsung maupun tidak langsung. Teknologi ini terbukti mampu menurunkan suhu ruang bakar, mencegah detonasi, meningkatkan efisiensi volumetrik, dan mengurangi emisi gas buang (Zhuang et al., 2020). Selain itu, kombinasi water injection dengan bahan bakar fosil maupun nabati memberikan potensi peningkatan kestabilan pembakaran serta efisiensi konsumsi bahan bakar (Marbun, 2020).

Produsen mesin terus berupaya menyesuaikan dengan regulasi emisi melalui peningkatan rasio kompresi dan pemanfaatan teknologi alternatif. Water injection dinilai efektif karena dapat meningkatkan daya mesin, efisiensi termal, serta menekan emisi tanpa perlu mengubah desain mesin secara signifikan (Fratita et al., 2021). Dengan demikian, penelitian terkait penerapan sistem water injection pada mesin 4 langkah menjadi penting untuk mendukung pengembangan kendaraan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Art N Speed, JL. Setiabudi No.58 H, Pamulang Tim., Kec. Pamulang, kota Tangerang Selatan, Banten 15417 dan tempat untuk pengujian emisi gas buang dilakukan pada Lokasi Jakarta timur bambu apus Jl. SMP 135 No.47 Blok A, RT.12/RW.7, Pd. Bambu, Kec. Duren Sawit, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta. waktu penelitian akan dilaksanakan pada bulan Maret – April 2025. Meliputi persiapan penelitian pengerjaan penelitian pengumpulan data dan pengolahan data.

### Skema Penelitian



**Gambar 1 Skema Penelitian**

## METODE

### Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian  
Dynotest motor, Gas analyzer Gelas ukur 1000 ml, Stop watch.
2. Bahan Penelitian  
Air aquades, Selang air water injection, Nozzle, Kran one way, Botol penampung sementara, Botol penyimpana air.

### Tempat dan Waktu Penelitian

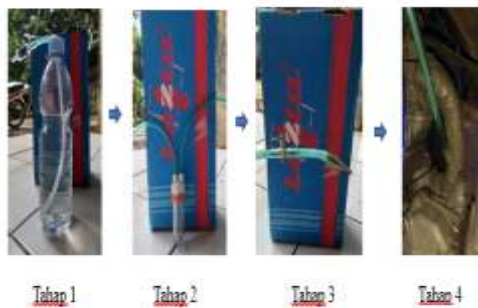
Penelitian akan dilakukan di beberapa tempat untuk perakitan alat dilakukan di rumah penulis di Bogor jalan taruna no 33, untuk pengujian daya kinerja mesin dilakukan di daerah Tangerang selatan bertempat di bengkel

Penjelasan:

1. Perakitan alat dilakukan untuk penyatuan antara komponen yang akan dilakukan untuk melakukan sistem *water injection*.
2. Uji coba alat dilakukan untuk pengetesan awal apakah alat tersebut bekerja mengalir air atau tidak.
3. Uji variasi debit aliran dilakukan untuk mengetahui laju aliran yang akan dimasukan ke ruang bakar metode tersebut akan di jadikan menjadi 3 variasi masukan air : 10 ml/detik, 15 ml/detik dan 20 ml/detik.
4. Dyno test dilakukan untuk mengetahui berapa daya torsi dan daya kuda yang dihasilkan dari alat *water injection* tersebut.

5. Uji emisi dilakukan untuk mengetahui berapa kadar karbon atau pencemaran lingkungan yang dihasilkan pada alat *water injection* tersebut.
6. Uji efisien dilakukan untuk mengetahui berapa penggunaan bahan bakar pada saat alat *water injection* digunakan.

**Ilustrasi Skema Instalasi**



**Gambar 2 Ilustrasi Skema Instalasi**

Penjelasan:

1. Tahap 1 sebelum H<sub>2</sub>O dimasukan kedalam ruang bakar ditampung dalam wadah air yang berukuran 600 ml, wadah air berfungsi sebagai penyimpanan utama pada sistem water injection, kemudian H<sub>2</sub>O dialiri menggunakan selang air yang berdiameter 6 mm fungsi selang meneruskan H<sub>2</sub>O menuju ke intake manifold.
2. Tahap 2 yaitu wadah penyimpanan sementara yang berfungsi sebagai pengkabut H<sub>2</sub>O pada sistem water injection yang akan dimasukan menuju ruang bakar pada mesin 4 langkah.
3. Tahap 3 keran one way yang berfungsi sebagai pemuka dan penutup aliran H<sub>2</sub>O yang akan dimasukan ke dalam ruang bakar setelah melewati keran aliran akan masuk menuju nozzle untuk menyesuaikan kebutuhan water injection yang akan dimasukan kedalam ruang mesin untuk seberapa banyak konsumsi water injection yang diperlukan.
4. Tahap 4 intake manifold berfungsi

sebagai penyuntikan jalur water injection yang akan dimasukan kedalam ruang bakar selain itu intake manifold sebagai jalur masuknya campuran bahan bakar dan udara bersama penambahan H<sub>2</sub>O yang sudah dicampur pada ruang intake manifold tersebut menyebabkan terjadi tiga unsur bahan yang masuk keruang bakar yakni cairan H<sub>2</sub>O udara dan bahan bakar.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Pengujian Performa Mesin**

Pengujian dilakukan menggunakan dyno test khusus yang dilengkapi perangkat lunak Dynoz untuk merekam dan menganalisis data kinerja mesin secara real-time, meliputi daya, torsi, dan putaran mesin (RPM). Prosedur uji meliputi penempatan kendaraan, kalibrasi sensor, serta penyesuaian beban kerja mesin guna memperoleh hasil akurat. Melalui metode ini, perbedaan karakteristik performa mesin sebelum dan sesudah penerapan Water Injection (WI) dapat diidentifikasi, terutama pada peningkatan tenaga, torsi, dan kestabilan kerja mesin di berbagai putaran.

**Tabel 1 Data Daya Kuda Sebelum dan Sesudah Menggunakan Water Injection (wi)**

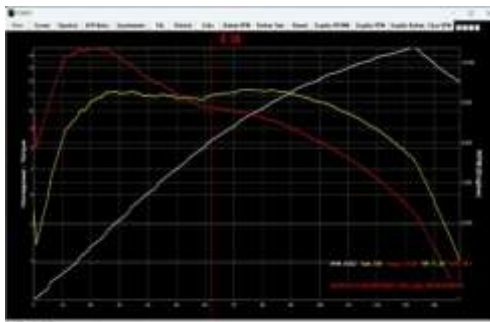
Pengujian	Percobaan	Tanpa (wi)	(wi) 5ml/detik	(wi) 10ml/detik	(wi) 15ml/detik
Daya kuda (HP)	1	11,13	11,51	11,32	11,48
	2	11,28	11,51	11,46	12,07
	3	11,38	11,66	11,74	11,89
	Rata-rata	11,26	11,56	11,50	11,81

**Tabel 2 Data Torsi Sebelum dan Sesudah Menggunakan Water Injection (wi)**

Pengujian	Percobaan	Tanpa (wi)	(wi) 5ml/detik	(wi) 10ml/detik	(wi) 15ml/detik
Torsi (Nm)	1	14,51	14,89	14,76	14,74
	2	14,71	14,64	14,43	15,09
	3	14,6	14,75	14,59	14,94
	Rata-rata	14,6	14,76	14,59	14,92

Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali percobaan untuk mengetahui berapa hasil data awal yang belum menggunakan sistem water injection sebagai data perbandingan dengan yang sudah menggunakan water injection penyajian data akan diberikan pada data gambar grafik dibawah ini :

1. Percobaan sebelum menggunakan water injection didapati hasil uji dyno dengan besar kinerja mesin torsi 14,60 Nm dan daya 11,38 HP untuk tenaga yang dikeluarkan.



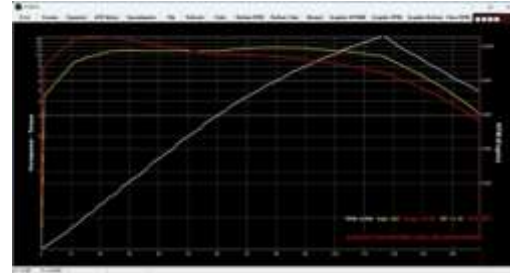
**Gambar 3 Hasil Pengujian Dyno Sebelum Menggunakan Water Injection**

2. Percobaan sesudah menggunakan water injection dengan debit 5 ml per detik menghasilkan daya kinerja mesin torsi 4,64 Nm dan daya 11,51 HP untuk tenaga yang dikeluarkan.



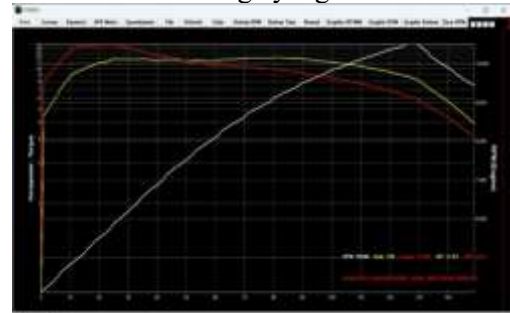
**Gambar 4 Pengujian Sesudah Menggunakan Water Injection 5 ml/detik**

3. Percobaan sesudah menggunakan water injection dengan debit 10 ml per detik menghasilkan daya kinerja mesin torsi 14,59 Nm dan daya 11,74 HP untuk tenaga yang dikeluarkan.



**Gambar 5 Pengujian Sesudah Menggunakan Water Injection 10 ml/detik**

4. Percobaan sesudah menggunakan water injection dengan debit 15 ml per detik menghasilkan daya kinerja mesin torsi 15,09 Nm dan daya 12,07 HP untuk tenaga yang dikeluarkan



**Gambar 6 Pengujian Sesudah Menggunakan Water Injection 15 ml/detik**

Dari hasil pengambilan data daya mesin menggunakan dyno test didapati hasil dengan perbedaan yang tidak terlalu signifikan pada percobaan sebelum dan sesudah menggunakan water injection untuk mendapatkan kenaikan tenaga yang sesuai dipergunakan waktu water injection yang memiliki durasi 15 ml/detik karena hasilnya dapat dilihat pada tabel dan grafik yang menunjukkan perbedaan angka daya tenaga HP dan jumlah Torsi yang sudah terdata pada mesin dyno test berikut hasilnya sebelum menggunakan water injection memiliki daya 11,38 HP dan sesudah menggunakan water injection menjadi daya 12,07 HP dan torsi sebelum menggunakan water injection sebesar torsi 14,51 Nm dan sesudah menggunakan water injection menjadi torsi 15,09 Nm rata-rata dari peningkatan kinerja pada mesin sebesar daya 11,81 HP dan torsi 14,92

Nm, karena penguasaan water injection tenaga memiliki kenaikan dan disarankan untuk mencari tenaga mesin menggunakan durasi yang 15 ml/detik.

**Hasil Pengujian Emisi Gas Buang**

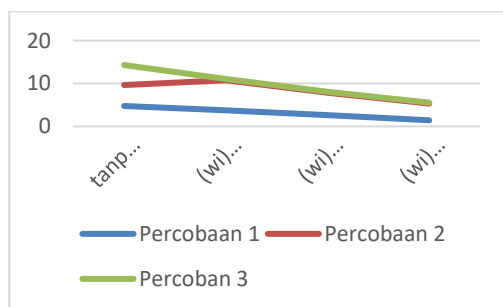
Pengujian emisi gas buang dilakukan menggunakan gas analyzer dengan sensor yang ditempatkan pada ujung knalpot untuk mengukur kadar karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC). Pengujian mengacu pada UU No. 8 Tahun 2023 tentang baku mutu emisi kendaraan bermotor kategori L, serta batas ambang Euro 2 untuk mesin 4 langkah produksi 2004. Variasi debit aliran Water Injection yang diuji adalah 5 ml/detik, 10 ml/detik, dan 15 ml/detik.

**Tabel 3 Data CO Uji Emisi Sebelum Dan Sesudah Menggunakan Water Injection (Wi)**

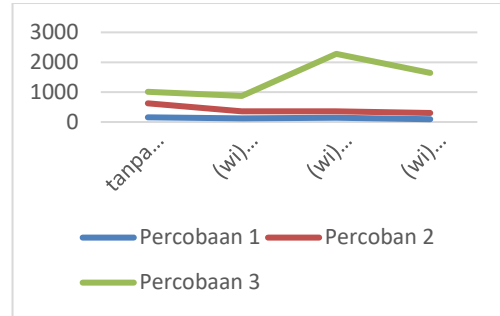
Pengujian	Percobaan	Tanpa (wi)	(wi) 5ml/detik	(wi) 10ml/detik	(wi) 15ml/detik
Hidrokarbon (HC) ppm/vol	1	156	124	140	93
	2	469	234	213	209
	3	381	514	1927	1343
	Rata-rata	335	290	760	548

**Tabel 4 Data HC Uji Emisi Sebelum Dan Sesudah Menggunakan Water Injection (Wi)**

Pengujian	Percobaan	Tanpa (wi)	(wi) 5ml/detik	(wi) 10ml/detik	(wi) 15ml/detik
Karbon Monoksida (CO) ppm/vol	1	4,76	3,77	2,59	1,43
	2	4,86	6,99	5,24	3,89
	3	4,68	0,32	0,26	0,22
	Rata-rata	4,76	3,69	2,69	1,84



**Grafik 1 Pengujian CO Karbon Monoksida**



**Grafik 2 Pengujian HC Hidrokarbon**

Hasil uji emisi menunjukkan data yang kurang presisi akibat penggunaan sistem water injection manual, sehingga debit air tidak stabil dan pembakaran menjadi tidak seragam. Kondisi ini menyebabkan nilai CO dan HC fluktuatif meskipun pada debit yang sama. Keterbatasan alat ukur yang sederhana, kebutuhan kalibrasi, ketidakstabilan mesin saat pengambilan sampel, serta faktor manusia dalam pengoperasian turut memengaruhi akurasi. Untuk penelitian selanjutnya, diperlukan sistem injeksi otomatis, prosedur uji terstandarisasi, dan kalibrasi alat berkala agar hasil lebih konsisten dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Hasil uji emisi menunjukkan bahwa penggunaan water injection efektif menurunkan kadar CO dan HC pada mesin 4 langkah. Pengujian dengan gas analyzer memperlihatkan tren penurunan emisi seiring peningkatan debit air, dengan hasil terbaik pada debit 15 ml/detik, yaitu CO rata-rata 1,84 ppm/vol dan HC 548 ppm/vol. Nilai ini berada jauh di bawah ambang batas regulasi Euro 2 (CO 5,5 ppm/vol; HC 2200 ppm/vol) sesuai Permen LHK No. 8 Tahun 2023. Secara keseluruhan, penerapan water injection mampu menurunkan emisi CO sebesar 52,6% dan HC 18,18%, sehingga menjadikan mesin lebih ramah lingkungan.

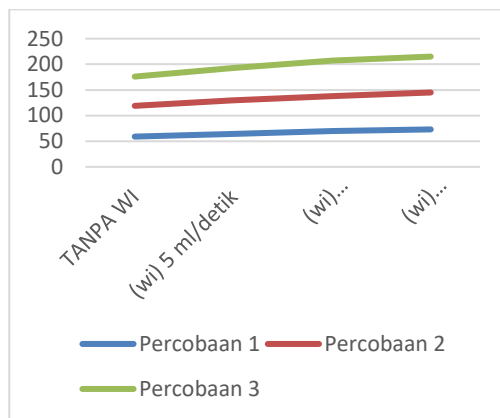
**Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar**

Pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan dengan metode jarak tempuh per 1 liter untuk mengetahui efisiensi penggunaan bahan bakar. Hasil sebelum

dan sesudah pemasangan water injection (WI) dibandingkan dalam bentuk persentase, dengan satuan pengukuran dalam kilometer (km).

**Tabel 5 Data Jarak Tempuh 1 Liter Bahan Bakar**

Percobaan	Tanpa (wi)	(wi) 5 ml/detik	(wi) 10ml/detik	(wi) 15ml/detik
1	59 km	64 km	70 km	73 km
2	60 km	66 km	68 km	72 km
3	57 km	63 km	69 km	70 km
Rata-rata	58 km	64 km	69 km	71 km



**Grafik 3 Jarak Tempuh 1 Liter Bahan Bakar**

Pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan tiga kali sebagai pembandingan antara kondisi tanpa dan dengan water injection (WI). Hasil terbaik diperoleh pada debit 15 ml/detik, dengan peningkatan jarak tempuh dari 59 km/liter menjadi 70 km/liter. Penerapan WI pada mesin 4 langkah meningkatkan efisiensi karena pembakaran lebih stabil. Efisiensi dihitung menggunakan rumus:

$$Efisiensi(\%) = \frac{(Jarak\ Akhir - Jarak\ Awal)}{Jarak\ Awal} \times 100\%$$

**Tabel 6 Data Efisiensi Jarak Tempuh**

Pengujian	(wi)5 ml/detik	(wi) 10 ml/detik	(wi) 15 ml/detik
efisiensi %	8	18	23
	10	13	20
	10	21	22

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan water injection (WI) berpengaruh nyata terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar. Debit optimal diperoleh pada 15 ml/detik, dengan peningkatan jarak tempuh dari 59 km/liter menjadi 73 km/liter atau naik 23%. Kondisi ini menunjukkan bahwa suplai air pada titik keseimbangan mampu menurunkan temperatur pembakaran, mengurangi detonasi, serta meningkatkan kestabilan proses pembakaran. Temuan ini menegaskan bahwa penentuan debit air yang tepat sangat penting agar WI dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap penghematan bahan bakar dan performa mesin 4 langkah.

## SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan water injection (WI) dengan debit optimal 15 ml/detik memberikan peningkatan signifikan pada performa mesin, efisiensi bahan bakar, dan penurunan emisi gas buang. Hasil pengujian mencatat kenaikan daya dari 11,38 HP menjadi 12,07 HP serta torsi dari 14,60 Nm menjadi 15,09 Nm. Emisi gas buang menurun, dengan CO turun hingga 52,6% dan HC sebesar 18,18%, tetap berada jauh di bawah ambang batas Euro 2. Selain itu, efisiensi konsumsi bahan bakar meningkat 23%, dengan jarak tempuh bertambah dari 59 km/liter menjadi 73 km/liter. Dengan demikian, teknologi WI terbukti efektif dalam meningkatkan performa mesin 4 langkah sekaligus mendukung pengurangan emisi dan konsumsi bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ayhan, V. (2020). Investigation of electronic controlled direct water injection for performance and emissions of a diesel engine running on sunflower oil methyl ester. *Fuel*, 275(April), 117992. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117992>
- Cao, D. N., Hoang, A. T., Luu, H. Q., Bui, V. G., & Tran, T. T. H. (2020). Effects of injection pressure on the NO<sub>x</sub> and PM emission control of diesel engine: A review under the aspect of PCCI combustion condition. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 7036. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1754531>
- Chaniago, I. P., Purwanto, W., Rifdarmon, & Arif, A. (2023). Optimasi Sistem Pengapian Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor 4 Langkah Dengan Metode Taguchi. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 1(2), 181–190. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v1i2.17>
- Fratita, M., Popescu, F., Martins, J., Brito, F. P., Costa, T., & Ion, I. (2021). Water injection in spark ignition engines—Impact on engine cycle. *Energy Reports*, 7(May), 374–379. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.113>
- Golzari, R., Zhao, H., Hall, J., Bassett, M., Williams, J., & Pearson, R. (2021). Impact of intake port injection of water on boosted downsized gasoline direct injection engine combustion, efficiency and emissions. *International Journal of Engine Research*, 22(1), 295–315. <https://doi.org/10.1177/1468087419832791>
- Kahnooji, M., & Yazdani, K. (2021). The effect of direct water injection on a diesel-gasoline reactivity controlled compression ignition engine. *Fuel*, 285(April 2020), 119109. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119109>
- Kang, Z., Feng, S., Lv, Y., Wu, J., & Wu, Z. (2021). Effect of direct water injection temperature on combustion process and thermal efficiency within compression ignition internal combustion Rankine engine. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28(October), 101592. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101592>
- Marbun, J. (2020). Analisis Sistem Injeksi Air/Metanol Dan Air/Etanol Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas buang. *Jurnal Teknik Mesin ITI*, 4(3), 109. <https://doi.org/10.31543/jtm.v4i3.518>
- Noval, M., Studi, P., Teknik, M., Pascasarjana, M., Pasundan, U., Ciamis, B., ... Barat, J. (2012). Pengembangan Water Injection System Pada Sepeda. *Jurnal Mesin*.
- Zhuang, Y., Sun, Y., Huang, Y., Teng, Q., He, B., Chen, W., & Qian, Y. (2020). Investigation of water injection benefits on downsized boosted direct injection spark ignition engine. *Fuel*, 264, 0–20. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.11>