

PENINGKATAN PERFORMA 4 STROKE SI ENGINE DENGAN MODIFIKASI VOLTAGE KELISTRIKAN UNTUK KONTROL AFR PEMBAKARAN

George Endri Kusuma¹, Sryang Tera Sarena², Mardi Santoso³, Emie Santoso⁴,
Ekky Nur Budiyanto⁵, Himawan Candra Buana⁶

^{1,2,3,4}Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

²Teknik Kelistrikan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

⁵Mototech-Indonesia

Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, Indonesia 60111

Email: kusuma.george@ppns.ac.id

Abstrak

Aturan pabrik menerapkan Euro 3 dan Euro 4 sebagai upaya pengurangan emisi di udara. Standard tegangan input *Engine Control Unit* (ECU) adalah 12V untuk menghasilkan *Air to Fuel Ratio* (AFR) ideal pada nilai 14,7. Namun pada operasional mesin di lapangan, tegangan yang disuplai baterai tidak dapat konstan pada angka tersebut dan mengakibatkan AFR ikut berubah, terutama pada sistem ECU *open loop*. Tegangan input terlalu rendah menyebabkan AFR terlalu tinggi yang mengakibatkan temperature mesin terlalu tinggi sehingga performa mesin menurun. Sebagai solusi masalah tersebut, penelitian ini mengembangkan mekanisme penstabilan tegangan (*voltage corrector/VC*) untuk memudahkan setelan udara dan bahan bakar mesin dapat konstan pada nilai yang diinginkan. Untuk mendapatkan nilai AFR terbaik, performa mesin diuji dengan *dynotest* meliputi *power*, torsi, konsumsi bahan bakar minyak dan AFR. Hasil pengujian menunjukkan nilai performa mesin terbaik mencapai daya 16.7 HP pada 10000 RPM dan torsi 13.35 Nm pada 8000 RPM dan tegangan 12.5 V serta AFR 14,11. Nilai AFR tersebut dijadikan masukan pada sistem VC dan alat tersebut mampu mengatur tegangan secara otomatis untuk menstabilkan AFR pada nilai yang sudah ditetapkan.

Kata Kunci: AFR, Voltase, ECU, Torsi, 4 Stroke

Abstract

The manufacturer's rules apply Euro 3 and Euro 4 as an effort to reduce emissions in the air. The standard input voltage for the Engine Control Unit (ECU) is 12V to produce an ideal Air to Fuel Ratio (AFR) at a value of 14.7. However, in machine operation in the field, the voltage supplied by the battery cannot be constant at that number and causes the AFR to change too, especially in open-loop ECU systems. The input voltage that is too low can affect the AFR to be too high. The condition might cause the engine temperature to be too high and decreases engine performance. As a solution to this problem, this research develops a voltage stabilization mechanism (VC) to facilitate the setting of air and fuel for the engine to be constant at the desired value. To get the best AFR value, engine performance is tested with dyno tests including power, torque, fuel oil consumption, and AFR. The test results show that the best engine performance value reaches 16.7 HP at 10000 RPM and 13.35 Nm of torque at 8000 RPM, and a voltage of 12.5 V and AFR 14.11. The AFR value is used as input to the VC system, and the equipment can adjust the voltage automatically to stabilize the AFR at a predetermined value.

Keyword: AFR, Voltage, ECU, Torque, 4 Stroke

1. PENDAHULUAN

Penerapan aturan EURO 3 dan EURO 4, membuat pabrik berlomba meloloskan produknya untuk bisa bersaing dalam kualitas produknya. Mesin yang ditingkatkan menjadi akar masalah meningkatkan emisi karbon jadi target utama. Hal ini akan berlaku pada mesin yang digunakan di darat maupun mesin yang

digunakan di laut. Semakin banyaknya kendaraan dan kemacetan menyebabkan mesin hanya bekerja pada beban ringan (*idle load*). Khususnya saat *idle* alias stasioner saat kemacetan atau saat kendaraan parkir tetapi menyalakan pendingin udara (mobil). Sementara, saat ini, pabrik masih memandatkan pembakaran stoikiometri saat mesin bekerja beban ringan atau tanpa beban.

Sayangnya, strategi ini mempengaruhi *performance* dari mesin yang ikut turun karena AFR bekerja lebih miskin bahan bakar (*lean condition*). Belum lagi pengaruh penggunaan *catalytic converter* sebagai upaya mengurangi dan menyaring emisi lebih bersih akan memberikan efek mesin bekerja lebih panas, performa *engine* secara keseluruhan akan menurun. Pada umumnya pabrikan akan menyatel (*setting up*) campuran udara dan bahan bakar pada komposisi stoikiometri. Berupa campuran udara dibanding bahan bakar 14,7:1 atau bisa disebut nilai *lambda* 1. Hal ini akan memberikan efek performansi mesin maksimal rerata pada perbandingan udara terhadap bahan bakar pada angka 12-13,5 atau pada rentang 0,8-0,9 dari nilai *lambda*. Angka AFR 12 dianggap mewakili campuran terbaik (*rich best performance*) dan sedangkan angka 13,5 mewakili rentang campuran miskin bahan bakar terbaik (*lean best performance*) [1][2]. Pada kondisi lain komposisi AFR stoikiometri pabrikan rerata dipakai saat mesin *idle*. Terutama saat kemacetan, atau kecenderungan pemakaian *air conditioner* (AC) di mobil khususnya. Padahal jika hanya untuk mengatasi beban mesin *idle* dan beban pendingin udara, mesin masih cukup mampu beroperasi di AFR di atas stoikiometri. Misal di angka 16-17, atau nilai *lambda* 1,08-1,15 mengingat beban mesin masih cukup ringan. Tantangan *lean combustion* adalah terjadinya *miss fire*. Bahan bakar yang kelewat miskin membutuhkan persiapan pembakaran yang baik[3][4]. Hal ini bisa diselesaikan dengan pengaturan pengapian yang baik salah satunya menggunakan *plasma ignition* [5][2]. Tetapi, untuk mendapatkan campuran dengan rentang variasi AFR lebar, hanya bisa dilakukan dengan cara *setting* injektor. Kemampuan penyemprotan debit bahan bakar injektor sangat dipengaruhi beberapa hal. Khususnya besaran voltase input injektor. Variasi voltase injektor akan mempengaruhi debit bahan bakar dan sebagai hasil akhirnya adalah nilai AFR yang diinginkan [6]. Nilai voltase pabrikan rata 12 volt untuk menggerakkan aktuator yang dikontrol *Engine Control Unit* (ECU). Koreksi

voltase dari 10 volt – 20 volt akan sangat mempengaruhi kinerja injektor. Voltase rendah memberi kecenderungan setelan miskin, sedangkan voltase tinggi memberikan setelan kaya. Jadi dengan *Voltage Corrector*, memudahkan pilihan *setting* udara dan bahan bakar mesin yang rerata sudah dikunci oleh pabrikan. Tujuan penelitian ini, diharapkan dengan mendesain *voltage corrector* pada *engine* akan dihasilkan performa mesin yang mampu bekerja dengan campuran rentang sangat miskin dan juga kaya. Kesetimbangan antara penurunan emisi karbon saat *idle* yang justru jadi penyumbang utama kerusakan lingkungan, tanpa mengurangi *performance* mesin maksimal. Pengujian parameter performa pada penelitian ini dilakukan dengan *standard* antara lain *dynotest* meliputi *power*, torsi, konsumsi bahan bakar minyak (BBM), *Air Fuel Ratio* (AFR).

2. METODE

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan pengujian langsung pada obyek.

2.1 Obyek Penelitian

Mesin silinder tunggal dan tipe pengapiannya adalah *Spark Ignition Engine* dipilih sebagai obyek penelitian. Mesin sepeda motor ini memiliki sistem bahan bakar *System port injector*. Penelitian ini diharapkan mampu menjadi terobosan untuk menunjang perkembangan teknologi mesin penggerak kapal kecil yang umumnya menggunakan bakar bensin yang memiliki karakteristik sama. Spesifikasi *engine* yang digunakan adalah sebagai berikut:

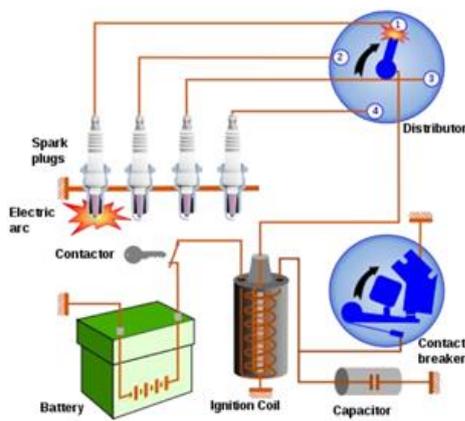
- Merk : Mesin Honda / GTR 150
- Silinder: 4-stroke Single Cylinder / 150
- Compression Ratio : 11.3:1
- Stroke : 57.8 mm
- Diameter silinder : 57.3 mm



Gambar 1. SI Engine Sepeda Motor Mesin Honda / GTR 150

2.2 Diagram Ignition System Block

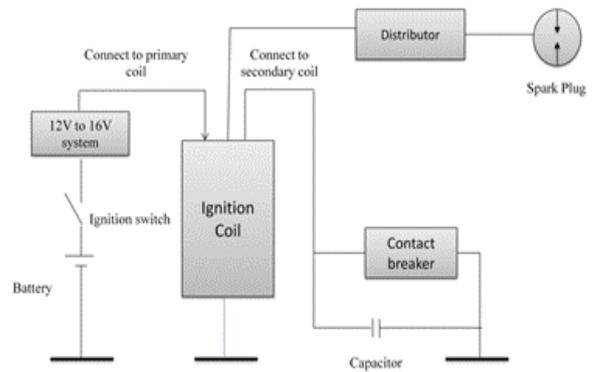
Sistem penyalan (*ignition*) terdiri dari berbagai macam komponen dimana sistem penyalan akan menciptakan dan mendistribusikan tegangan tinggi (diatas to 40kV atau lebih) dan mengirimkan ke komponen *spark plug* [7]. Percikan akibat tegangan tinggi akan terjadi di dalam ruang bakar. Percikan akan terjadi dan menaikkan temperatur campuran bahan bakar dan udara sehingga akan memicu proses pembakaran di dalam silinder[8][9].



Gambar 2. Proses Percikan pada *ignition*

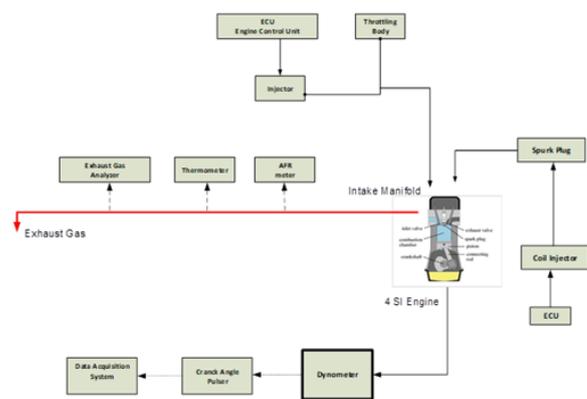
2.3 Diagram Kerja

Gambar 3 diagram skematik sistem penyalan yang diinjeksi pada sistem penyalan. Sistem akan ditempatkan pada *ignition coil* dan akan memberikan stabilisasi pada sistem kelistrikan pada baterai.

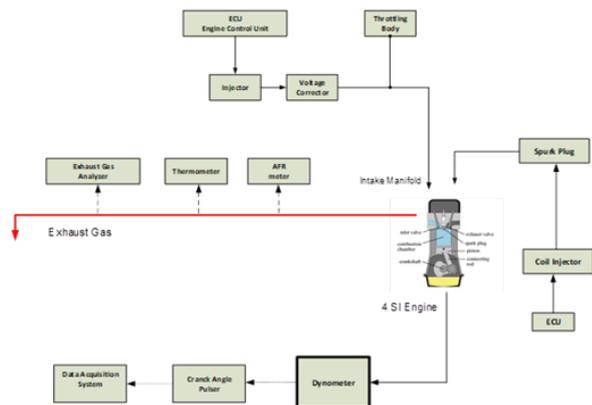


Gambar 3. Skema Diagram Sistem Ignition Coil System dengan 16 V

Semua sistem pengapian menerapkan tegangan baterai (mendekati 12V) ke sisi positif ignition coil dan mengalirkan ke sisi negatif ke tanah. Dalam penelitian ini, metode adalah untuk meningkatkan tegangan batterai dari 12V ke 16V ke *spark plug* (busi). Semakin meningkat tegangan baterai dan mampu meningkatkan kinerja dan mempercepat kecepatan pembakaran dan menekan efek ketukan mesin. Pada putaran mesin tinggi, campuran waktu pembakaran terpaksa dipersingkat dan kecepatan pembakaran meningkat. Ini penelitian juga akan menunjukkan kinerja engine meningkat dan konsumsi bahan bakar lebih sedikit.



Gambar 4. Skema Sistem Pengapian SI Engine Standar



Gambar 5. Skema Modifikasi Penempatan Voltage Corrector untuk Memperbaiki Sistem Pengapian

Penelitian ini dimulai dengan memperbaiki kelemahan desain kelistrikan mesin standard dengan penambahan *Pre-Design Voltage Corrector*. Proses instalasi unit *voltage corrector* pada mesin motor *Four (4)-strokes engine* dengan sistem vaporisasi bahan bakarnya dengan *injector*. Engine dengan instalasi *voltage corrector* pada unit akan mampu diuji performansinya dengan variasi input voltase ke injektor. Pengujian ini akan mendeskripsikan parameter performanya antara lain *power*, *top speed*, torsi (*torque*) dimana nilai parameter diatas dapat menggambarkan kemampuan mesin untuk menggerakkan unit dari kondisi diam, *idle* hingga berjalan. Selain itu dengan *dynotest*, penelitian ini akan mengetahui titik tertinggi nilai Torsi pada setiap tingkatan transmisi (gigi) dan mendapatkan titik perpindahan gigi pada RPM tertentu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini menghasilkan data performa *power* dan torsi, pada pengaplikasian *voltage corrector*

A. Pengoperasian Engine Kondisi Idle

Variabel pengoperasian *engine*:

- Engine off : Tegangan baterai 11.4 volt
- Engine on : Tegangan baterai 13.9 volt

Data hasil pengamatan data mesin saat putaran stasioner:

- Putaran mesin : 1.200-1500 rpm
- Posisi TPS : 0%
- Siklus Injektor : 3.5%
- Lebar pulsa : 3.3 mS
- Sudut pengapian : 12° sebelum TMA
- AFR : 14.21-14.7
- Lambda : 0.99
- Voltase injector : 12 volt

Pengaruh Peningkatan Voltase Injektor Terhadap Campuran Bahan Bakar Udara (Lambda):

Tabel 1. Pengaruh Variasi Kenaikan Voltage terhadap AFR Engine

Voltase	Lambda	AFR
12	0,06875	14.55
12.05	0,0666667	14.11
13	0,0590278	12.49
13.05	00.08	0,5111111
14.05	0,0520833	11.02
17	00.07	10.29

Tabel 1 memberikan deskripsi bahwa terdapat korelasi pengaruh peningkatan *voltage* terhadap nilai AFR. Korelasi penting yang terjadi adalah pada peningkatan *voltage* pada *injector* akan menurunkan lambda alias memperkaya campuran bahan bakar (*rich*) yang akan memberikan konsumsi bahan bakar lebih tinggi untuk *engine*.

Tabel 2. Pengaruh Variasi Penurunan Voltage terhadap AFR Engine

Voltase	Lambda	AFR
11	01.04	15,28
10	01.09	16
9	01.14	0,71875

Data tabel 2, mendeskripsikan pengaruh korelasi penurunan *voltage* terhadap nilai AFR pembakaran engien. Penurunan *voltage* pada *injector* akan menaikkan lambda alias *memiskinkan* campuran bahan bakar (*lean*)

yang akan memberikan konsumsi bahan bakar lebih rendah untuk *engine*. Efisiensi konsumsi bahan bakar dapat dicapai dalam kondisi mesin dengan campuran pembakaran bahan bakar kering. Salah satu contoh pada kondisi *stationary* dan pada mode *engine* beroperasi dengan beban ringan atau *cruising*. Pada saat mesin menanggung beban tinggi dan membutuhkan bahan bakar lebih banyak maka *system injector* harus menambah *mass glow rate* bahan bakar (semprotan) untuk mencapai kondisi *rich mixture*. Penelitian menunjukkan hasil pada ECU standar pabrik tidak bisa diprogram ulang untuk mengantisipasi perubahan – perubahan yang terjadi. Untuk mengantisipasi perubahan-perubahan tersebut dibutuhkan modifikasi pada sistem kelistrikan *engine* untuk mampu melakukan *mapping setting ECU original* produksi pabrik. Unit *prototype voltage corrector* didesain mampu mengubah hanya pada parameter voltase *injector* tanpa memberikan proses perubahan *mapping* bahan bakar untuk memberikan resiko sangat kecil (minimal) dalam hal kerusakan *actuator*.

B. Pengujian Performa Engine pada Voltase 12 V

Pengujian performa daya dan torsi pada voltase 12 volt didapatkan hasil bahwa daya maksimum adalah sebesar 15.8 HP pada 9500 RPM dan torsi maksimum adalah sebesar 13.12 Nm pada 7500 RPM. Data tersebut ditunjukkan pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. Data Pengujian *Dynotest Engine* pada Voltase 12V

C. Pengujian Performa Engine pada Voltase 12.5 V

Pengujian performa daya dan torsi pada voltase 12.5 volt memberikan hasil terbaik yaitu daya maksimum adalah sebesar 16.7 HP pada 10000 RPM dan Torsi maksimum adalah sebesar 13.35 Nm pada 8000 RPM. Daya maksimal didapatkan pada area AFR dengan voltase 12-13.5V disebabkan *engine* membutuhkan dan memperkaya bahan bakar dari area stoikiometri pembakaran agar memastikan setiap oksigen yang masuk ke dalam mesin akan dimanfaatkan sebaik mungkin untuk proses pembakaran bahan bakar. Data tersebut ditunjukkan pada gambar 7 berikut:



Gambar 7. Data Pengujian *Dynotest Engine* pada Voltase 12.5 V

D. Pengujian Performa Engine pada Voltase 13 V

Pengujian performa daya dan torsi pada voltase 13 volt didapatkan hasil yaitu daya maksimum adalah sebesar 16.4 HP pada 10000 RPM dan Torsi maksimum adalah sebesar 13.26 Nm pada 7500 RPM. Data tersebut ditunjukkan pada gambar 8 berikut:



Gambar 8. Data Pengujian Dynotest Engine pada Voltase 13 V



Gambar 10. Data Pengujian Dynotest Engine pada Voltase 14.5 V

E. Pengujian Performa Engine pada Voltase 13.5 V

Pengujian performa daya engine dan torsi pada voltase 13.5 volt didapatkan hasil yaitu daya maksimum adalah sebesar 15.5 HP pada 9500 RPM dan Torsi maksimum adalah sebesar 13.02 Nm pada 7500 RPM. Data tersebut ditunjukkan pada gambar 11 berikut:



Gambar 9. Data Pengujian Dynotest Engine pada Voltase 13.5 V

F. Pengujian Performa Engine pada Voltase 14.5 V

Pengujian performa daya engine dan torsi pada voltase 14.5 volt didapatkan hasil yaitu daya maksimum adalah sebesar 15.1 HP pada 9500 RPM dan Torsi maksimum adalah sebesar 12.8 Nm pada 7500 RPM. Data tersebut ditunjukkan pada gambar 10 berikut:

G. Pengujian Performa Engine pada Voltase 17 V

Pengujian performa daya engine dan torsi pada voltase 17 volt didapatkan hasil yaitu daya maksimum adalah sebesar 15.1 HP pada 9500 RPM dan Torsi maksimum adalah sebesar 12.71 Nm pada 7500 RPM. Data tersebut ditunjukkan pada gambar 11 berikut:



Gambar 11. Data Pengujian Dynotest Engine pada Voltase 17 V

Keseluruhan hasil penelitian pada engine dengan ECU ini dapat dibagi menjadi 2 desain area kerja yaitu pada area kerja pertama pada saat engine bekerja dengan desain *close loop* dimana kinerja ECU sangat dipengaruhi oleh input dari oksigen sensor yang terpasang pada *exhaust chamber*. *Voltage corrector* bekerja menambah tinggi nilai *voltase* injektor sehingga injektor akan meningkatkan suplay bahan bakar walaupun ECU memerintahkan pembukaan lebar pulsa injector pada kondisi tetap [10]. Hal ini disebabkan peningkatan *voltase* injektor akan meningkatkan

sensitivitas buka tutup injektor terhadap input/*trigger* dari ECU yang mana pada kondisi tersebut terbaca pembakaran lebih kaya dari seharusnya [11]. Pada posisi *close loop engine*, inputan dari oksigen sensor agar ECU mengurangi suplai bahan bakar ke *injector* sehingga pada kondisi *engine* bekerja dalam sistem tertutup maka penggunaan *voltage corrector* akan memicu ECU untuk mengurangi konsumsi bahan bakar. Area kerja kedua adalah pada saat mesin bekerja pada saat *open loop* dimana kinerja *engine* tidak lagi dipengaruhi oleh oksigen sensor yang terpasang pada *exhaust chamber*. Salah satu aplikasinya pada saat *engine* mengalami akselerasi pada saat *dynotest*. Mesin bekerja dengan buka tutup gas cepat sehingga perubahan nilai oksigen di gas buang tidak mampu direspon oksigen sensor. Pada kondisi tersebut ECU akan bekerja sesuai kemampuan injektor sehingga pada saat injektor ditingkatkan voltasenya maka AFR akan berubah ke area *rich mixture* dan mesin daya lebih besar.

4. KESIMPULAN

Perbaikan voltase (*voltage corrector*) pada penelitian ini mampu meningkatkan dan menurunkan voltase input dari sistem *injector engine*. Deviasi nilai voltase menjadi input injektor sangat mempengaruhi kualitas dan kuantitas bahan bakar yang di injeksikan sistem injektor ke dalam ruang bakar. Modifikasi rentang voltase ini mampu memberikan efek peningkatan perfromansi engine dimana peningkatan voltage secara signifikan berkorelasi nilai AFR. Pengaruh peningkatan voltage terbaik pada performa engine terjadi pada 12.5 V dengan nilai daya didapatkan 16.7 HP pada 10000 RPM dan torsi 13.35 Nm pada 8000 RPM. Secara nyata peningkatan voltage pada injector mampu menurunkan lambda alias memperkaya campuran bahan bakar yang akan memberikan inputan konsumsi bahan bakar lebih tinggi untuk mesin.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Institusi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan pendanaan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Kawahara, S. Hashimoto, and E. Tomita, "Spark discharge ignition process in a spark-ignition engine using a time series of spectra measurements," *Proc. Combust. Inst.*, vol. 36, no. 3, pp. 3451–3458, 2017.
- [2] G. Yufeng and F. Zongde, "Experimental Study on Different Ignition System Matching Different Spark Plug Gap," *Comput. Intell. Nat. Comput. Int. Conf.*, vol. 1, pp. 305–308, Jun. 2009.
- [3] D. Jung and N. Iida, "An investigation of multiple spark discharge using multi-coil ignition system for improving thermal efficiency of lean SI engine operation," *Appl. Energy*, vol. 212, pp. 322–332, 2018.
- [4] G. J. Rohwein, "An efficient, power-enhanced ignition system," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 25, no. 2, pp. 306–310, 1997.
- [5] A. Nishiyama and Y. Ikeda, "Improvement of lean limit and fuel consumption using microwave plasma ignition technology," in *SAE Technical Papers*, 2012.
- [6] S. Tsuboi, S. Miyokawa, M. Matsuda, T. Yokomori, and N. Iida, "Influence of spark discharge characteristics on ignition and combustion process and the lean operation limit in a spark ignition engine," *Appl. Energy*, vol. 250, no. May, pp. 617–632, 2019.
- [7] "Spark ignition engine." pp. 1–17, 2011.
- [8] M. Hese, H. Tschöke, T. Breuninger, F. Altenschmidt, and H. Winter, "Influence of a Multispark Ignition System on the inflammation in a Spray-guided Combustion Process," *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, vol. 2, no. 2. Consiglio Nazionale delle Ricerche, pp. 376–386, 2009.
- [9] A. Zhang *et al.*, "The Impact of Spark Discharge Pattern on Flame Initiation in a Turbulent Lean and Dilute Mixture in a Pressurized Combustion Vessel," *SAE*

- International Journal of Engines*, vol. 6, no. 1. SAE International, pp. 435–446, 2013.
- [10] M. Chiaberge, G. Botto, and M. De Giuseppe, “An FPGA controlled DC/DC step-up converter for automotive applications,” *EPE J. (European Power Electron. Drives Journal)*, vol. 23, no. 3, pp. 30–35, 2013.
- [11] “DBNSTJ: Development of a Battery-Voltage-Driven Fuel Injector for Direct-Injection Gasoline Engines.” [Online]. Available: <https://dbnst.nii.ac.jp/english/detail/1783>. [Accessed: 25-Nov-2020].
- [12] P. Pourmohamadiyan, A. Hassanpoor, A. Soheili, E. Afshari, and K. Hooman, “A new automatic spark generation system for gasoline engines,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2016, vol. 2016-May, pp. 1016–1021.
- [13] K. Linkenheil, H. O. Ruoff, T. Grau, J. Seidel, and W. Heinrich, “A novel spark-plug for improved ignition in engines with gasoline direct injection (GDI),” *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 33, no. 5 II, pp. 1696–1702, Oct. 2005.