

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH PENGGUNAAN ELECTRONIC CONTROL UNIT AFTERMARKET PADA DAYA, TORSI, EMISI DAN KONSUMSI BAHAN BAKAR SEPEDA MOTOR 150CC

Arka Dwinanda Soewono ¹⁾ ✉, Josep Halim ²⁾, Marten Darmawan ³⁾

¹⁾**Program Studi Teknik Mesin**

Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jenderal Sudirman No. 51
Jakarta, Indonesia, 12930
arka.soewono@atmajaya.ac.id

²⁾**Program Studi Teknik Mesin**

Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Cisauk Raya, BSD
Banten, Indonesia, 15345
marten.darmawan@atmajaya.ac.id

³⁾**Program Studi Teknik Mesin**

Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Cisauk Raya, BSD
Banten, Indonesia, 15345
josephalim11@gmail.com

Abstract

To improve motorbike performance, simple modifications are often applied using an aftermarket Electronic Control Unit (ECU). However, scientific studies on this particular topic are still limited. Therefore, the purpose of this research is to examine the effect of the aftermarket Juken 5 ECU on the power, torque, emissions, and fuel consumption of the Yamaha R15-V3 bike. The results of the dynamometer testing showed that the motorcycle with the Juken 5 ECU experienced an average increase of $8.09 \pm 1.30\%$ in power and $7.79 \pm 1.31\%$ in torque, respectively, at 5500 – 11000 rpm. However, the concentrations of Carbon Monoxide and Hydrocarbon emissions also increased by 170% and 360%, respectively. Particulate emission measurements also revealed that the Juken 5 ECU usage resulted in a significant increase in particulate counts. Compared to the standard ECU, motorcycles equipped with the Juken 5 ECU produced 89% and 145% more particulates in the size range of $0.3 - 0.374 \mu\text{m}$ and $0.374 - 2.685 \mu\text{m}$, respectively. The performance and emission data analysis results indicated that the increase in power and torque achieved by the Juken 5 ECU is simply due to more fuel being injected into the combustion chamber. This finding was supported by the results of fuel consumption testing, where using the aftermarket ECU increased motorcycle fuel consumption by 63.6%.

Keywords: Motorcycle, Power, Torque, Fuel Consumption, Exhaust Emissions, Electronic Control Unit

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2019, kendaraan roda dua (sepeda motor dan skuter) menjadi moda transportasi paling dominan di Indonesia dengan jumlah lebih dari 112 juta unit atau sekitar 84% dari total kendaraan bermotor ^[1]. Data dari BPS juga menunjukkan bahwa peningkatan sepeda motor pada kurun waktu 2017-2019 sebesar sekitar 6 juta unit per tahunnya yang merupakan pertumbuhan paling pesat dibandingkan dengan jenis kendaraan bermotor yang lain ^[2]. Dikarenakan jumlahnya yang dominan, sepeda motor menjadi penyumbang emisi gas buang terbanyak dari sektor transportasi di Jakarta, yaitu sebesar 45% dibandingkan tipe kendaraan lain ^[3]. Hasil penelitian dari Ismiyati, *et al.* ^[4] juga mengungkapkan bahwa kontribusi gas buang sepeda

Corresponding Author:

✉ Arka Dwinanda Soewono

Received on: 2023-01-15

Revised on: 2023-01-24

Accepted on: 2023-01-24

motor sebagai sumber polusi udara mencapai 40-50% di beberapa kota besar di Indonesia dan harus mendapatkan perhatian yang serius.

Sebagai salah satu upaya untuk mengurangi emisi gas buang, sepeda motor generasi terbaru saat ini menggunakan teknologi suplai bahan bakar *Electronic Fuel Injection (EFI)* yang dikontrol secara elektronik menggunakan *Electronic Control Unit (ECU)*. Fungsi *ECU* pada sistem *Electronic Fuel Injection* adalah untuk mengatur volume dan rasio jumlah bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang bakar, dan waktu penyemprotan oleh injektor. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan *ECU* dapat meningkatkan daya luaran dibandingkan dengan sistem karburator dikarenakan kontrol *ECU* menghasilkan pencampuran bahan bakar dan udara yang lebih baik^[5, 6]. Sistem pengontrol bahan bakar (*fuel controller*) pada teknologi *EFI* memegang peranan penting dalam menjaga campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar pada kondisi ideal atau stoikiometri sehingga dapat menghasilkan penghematan bahan bakar dikarenakan jumlah bahan bakar yang disemprotkan dioptimalkan sesuai dengan kebutuhan mesin^[7-9] dan mengurangi emisi gas buang^[10,11] dan gas rumah kaca^[12, 13].

Masalah utama dari sepeda motor dengan teknologi *Fuel Injection* yaitu performa mesin yang sering dianggap kurang maksimal oleh pengguna sehingga dilakukan modifikasi dengan menyetel ulang (*remapping*) *ECU* untuk meningkatkan tenaga dan torsi^[14-16], serta efisiensi bahan bakar^[17]. Akan tetapi, proses *ECU remapping* harus dilakukan dengan perangkat lunak (*engine tuning software*) dan mengikuti prosedur terukur sesuai dengan standar pabrikan sehingga proses penyetelan *ECU* pada umumnya membutuhkan biaya yang relatif tinggi dan menyita banyak waktu^[17]. Oleh sebab itu, banyak pengguna memilih metode alternatif yaitu dengan mengganti *Electronic Control Unit* standar pabrik dengan *ECU aftermarket* untuk meningkatkan performa sepeda motor. Pada *ECU aftermarket* atau yang sering dipasarkan dengan istilah *ECU racing*, beberapa pengaturan pada sistem suplai bahan bakar dan pengapian sepeda motor diubah untuk menghasilkan daya atau torsi yang lebih tinggi. Akan tetapi, penelitian ilmiah tentang pengaruh penggunaan *ECU aftermarket* terhadap performa sepeda motor masih sangat terbatas. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menemukan bahwa penggunaan *ECU aftermarket* pada kendaraan roda dua menghasilkan peningkatan daya luaran dan torsi mulai dari kisaran 1% [19] hingga lebih dari 10 %^[20, 21]. Akan tetapi, sejauh ini, penelitian tentang pengaruh *ECU aftermarket* terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang masih sangat terbatas. Oleh sebab itu, tujuan utama dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh *ECU aftermarket* terhadap daya luaran, torsi, emisi dan konsumsi bahan bakar sepeda motor. *ECU aftermarket* yang diuji adalah merek Juken yang dijual bebas dan banyak dipakai oleh pengguna sepeda motor di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen berbasis dynamometer testing. Sepeda motor yang digunakan adalah Yamaha R15-V3 tahun 2017 dengan spesifikasi yang tertera di Tabel 1 Bahan bakar yang dipakai selama pengujian adalah petrol dengan *Research Octane Number (RON)* 92. *ECU aftermarket* yang diuji adalah *ECU Juken 5*. Pengujian performa, emisi dan konsumsi bahan bakar sepeda motor dilakukan dalam kondisi *hot start*.

Tabel 1. Spesifikasi sepeda motor Yamaha R15-V3.

SPESIFIKASI SEPEDA MOTOR	
Tipe Mesin	4-Stroke, Single Over Head Cam
Volume Silinder	155,1 cc
Diameter x Langkah	58 mm x 58,7 mm
Perbandingan Kompresi	11,6 ± 0,4 : 1
Sistem Bahan Bakar	Fuel Injection
Daya Maksimum	19,04 hp / 10000 rpm
Torsi Maksimum	14,7 N.m / 8500 rpm

Dynamometer yang digunakan merupakan jenis *chassis dynamometer* Super Dyno 50L yang melakukan pengukuran daya dan torsi dari putaran roda sepeda motor dengan mode tanpa beban. Pengukur daya luaran dan torsi di atas *dynamometer* dilakukan sebanyak tiga kali pada hari yang berbeda untuk sepeda motor dengan ECU standar pabrikan maupun pada saat menggunakan ECU Juken 5 untuk kondisi putaran poros 5500 rpm sampai dengan 11000 rpm dengan kelipatan 500 rpm. Data hasil pengukuran diolah dan dianalisis menggunakan metode statistik kualitatif sederhana untuk mengukur pengaruh penggunaan ECU Juken 5 terhadap performa sepeda motor.

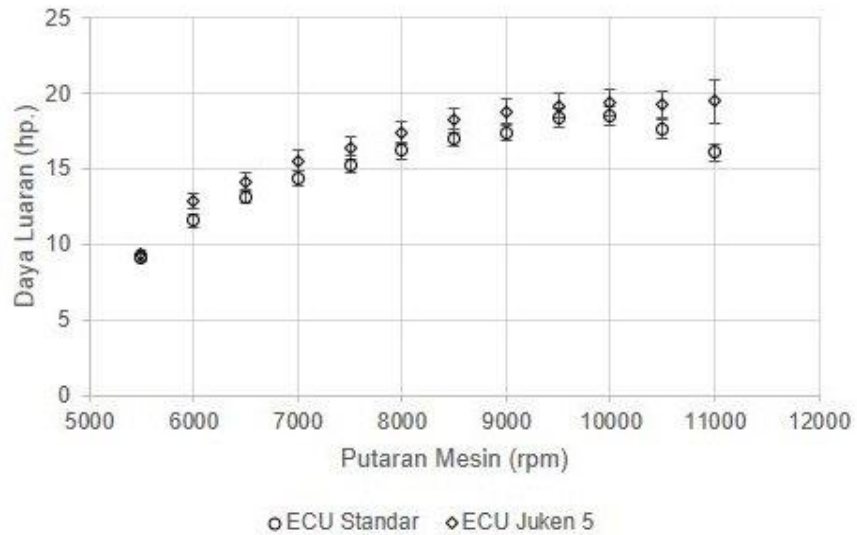
Pengukuran emisi gas buang dilakukan dengan menggunakan *Exhaust Gas Analyzer* Sukeyoung tipe SY – GA501. Pengukuran emisi gas buang dilakukan untuk mendapatkan kadar Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), Hidrokarbon (HC) pada kondisi idle dan peak power. Emisi partikulat (*particulate emission*) juga diukur pada saat bersamaan dengan menggunakan *Optical Particle Sizer* (OPS) TSI Model 3330 dengan pengaturan *sampling flow* dan *sheath air* sebesar 1 liter/menit, serta waktu pengambilan sampel (*sampling time*) selama dua menit.

Pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan di area parkir yang kosong dengan menggunakan metode *full to full* dengan total jarak tempuh 15 km. Kondisi ketika melakukan pengujian konsumsi bahan bakar yaitu kecepatan sepeda motor dipertahankan pada level 40 km/jam dan proses akselerasi/deselerasi dilakukan secara bertahan di awal/akhir pengujian. Prosedur pengukuran konsumsi bahan bakar sebagai berikut: *tripmeter* pada *odometer* diposisikan pada nilai nol dan tangki bahan bakar sepeda motor diisi sampai penuh di awal pengujian. Kemudian sepeda motor diuji jalan dengan kondisi yang telah ditetapkan. Di akhir pengujian, nilai *tripmeter* dicatat. Tangki bahan bakar sepeda motor kembali diisi hingga kondisi penuh dan jumlah pengisian bahan bakar dicatat.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Pengujian *Dynamometer*

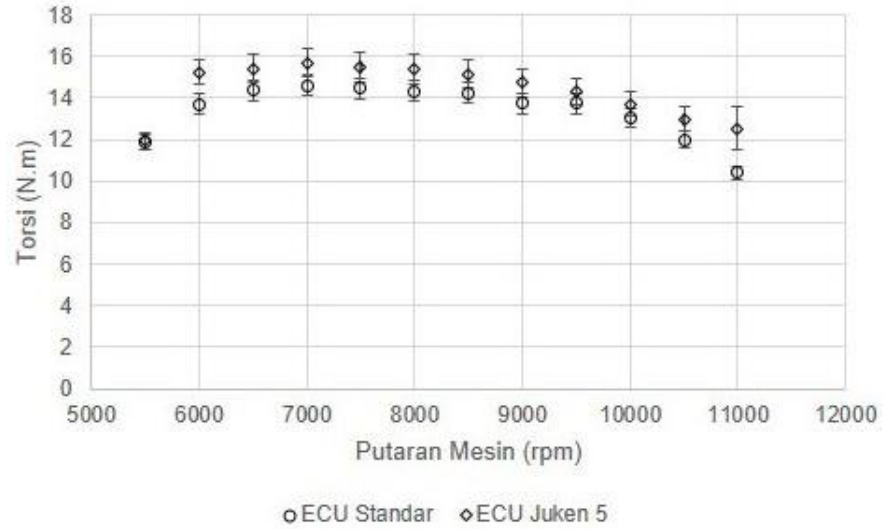
Perbandingan daya luaran sepeda motor Yamaha R15-V3 ketika menggunakan ECU standar dan ECU Juken 5 dapat dilihat pada Gambar 1. Bilah kesalahan (*error bars*) di grafik merepresentasikan error standar dari tiga pengujian yang dilakukan di atas *dynamometer*.



Gambar 1. Grafik daya hasil pengujian *dynotest*.

Dari hasil pengukuran daya didapatkan bahwa daya luaran terbesar dari sepeda motor pada saat menggunakan *ECU* standar adalah sebesar 18,48 *horsepower* (hp) pada putaran mesin 10000 rpm. Sepeda motor yang dilengkapi dengan *ECU* Juken 5 menghasilkan daya tertinggi sebesar 19,45 hp pada putaran mesin 11000 rpm. Ini berarti bahwa penggunaan *ECU* Juken 5 menyebabkan kenaikan daya luaran maksimum (maximum power) sebesar $5,24 \pm 0,04 \%$. Data ini konsisten dengan hasil penelitian Afwan dan Rahardjo^[20] yang melaporkan peningkatan daya luaran maksimum sebesar 7% untuk sepeda motor dengan *ECU aftermarket*. Hasil *dynotest* juga menunjukkan daya sepeda motor ketika menggunakan *ECU* Juken 5 mengalami peningkatan rata-rata di kisaran 5-8% pada putaran mesin 6000 rpm sampai 11000 rpm dan peningkatan terbesar terjadi pada kondisi putaran mesin tinggi. Hal tersebut sesuai dengan tujuan *ECU* Juken 5 yaitu untuk keperluan balapan (*racing*) di mana jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke ruang bakar semakin meningkat seiring dengan meningkatnya putaran mesin sehingga daya yang dihasilkan tetap besar pada saat rpm tinggi. Pengaruh positif penggunaan *ECU aftermarket* terhadap daya sepeda motor juga diamati oleh Trisianto, *et al.*^[21] yang melaporkan peningkatan daya sampai dengan 18%. Peningkatan daya yang lebih baik pada penelitian tersebut dihasilkan oleh sepeda motor yang dimodifikasi dengan menggunakan *ECU aftermarket* dan injektor *racing*. Hal ini menekankan bahwa pengaruh *ECU* Juken 5 untuk meningkatkan daya sepeda motor akan menjadi lebih optimal bila didukung dengan penggunaan injektor non-standar.

Hasil pengukuran torsi sepeda motor Yamaha R15-V3 dengan menggunakan *ECU* standar dan *ECU* Juken 5 dapat dilihat pada Gambar 2. Bilah kesalahan merupakan *standard error* dari hasil tiga kali pengujian.



Gambar 2. Grafik torsi hasil pengujian *dynotest*.

Dari Gambar 2 didapatkan bahwa torsi tertinggi (*peak torque*) sepeda motor dengan *ECU* standar dan *ECU* Juken 5 masing-masing sebesar 14,62 N.m dan 15,7 N.m yang dihasilkan pada putaran mesin 7000 rpm. Hal ini berarti torsi maksimum sepeda motor mengalami kenaikan rata-rata sebesar $7,38 \pm 0,03$ % ketika sepeda motor menggunakan *ECU* Juken 5. Hasil analisis data hasil pengujian *dyno* menunjukkan bahwa rata-rata torsi yang dihasilkan sepeda motor dengan menggunakan *ECU* standar sebesar $13,37 \pm 0,23$ N.m pada putaran mesin 6000 rpm sampai 11000 rpm, sedangkan rata-rata torsi pada saat menggunakan *ECU* Juken sebesar $14,61 \pm 0,12$ N.m pada putaran mesin yang sama. Hasil pengujian ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya di mana penggunaan *ECU racing* pada sepeda motor menghasilkan akselerasi yang lebih baik terutama pada kondisi putaran mesin rendah [20 – 22].

3.2. Pengukuran Emisi Gas Buang

Data kadar Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂) dan Hidrokarbon yang tidak terbakar (HC) yang didapatkan setelah melakukan pengujian emisi gas buang sepeda motor Yamaha R15-V3 pada kondisi *idle* dengan menggunakan *Exhaust Gas Analyzer* dapat dilihat pada Tabel 2. Data hasil pengukuran emisi gas buang menunjukkan hasil rata-rata pengukuran dan *standard error*.

Tabel 2. Hasil pengujian emisi gas buang pada kondisi *idle*.

EMISI GAS BUANG	ECU STANDAR	ECU JUKEN 5
Karbon Monoksida (CO) (%)	$0,345 \pm 0,09$	$6,965 \pm 0,57$
Karbon Dioksida (CO ₂) (%)	$10,2 \pm 0,4$	$6,2 \pm 0,7$
Hidrokarbon (HC) (ppm)	260 ± 53	787 ± 89

Karbon Monoksida dan Hidrokarbon adalah gas buang dari proses pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna di dalam silinder pembakaran, sedangkan Karbon Dioksida adalah produk utama dari proses pembakaran yang sempurna. Dapat dilihat dari data

pengukuran bahwa penggunaan *ECU* Juken 5 meningkatkan kadar emisi gas Karbon Monoksida sebesar 1900% dan Hidrokarbon hingga 202% pada saat kondisi putaran mesin rendah. Di sisi lain, hasil pengukuran Karbon Dioksida (CO_2) di pipa gas buang menunjukkan bahwa motor dengan *ECU* standar menghasilkan kadar CO_2 yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan daya luaran dan torsi yang dihasilkan oleh *ECU* Juken 5 pada kondisi putaran mesin rendah tercapai dengan mengoperasikan motor bakar dalam kondisi kaya (*rich mixture*) di mana jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar ditambahkan. Meningkatnya jumlah bahan bakar di ruang bakar tidak diimbangi dengan jumlah udara yang masuk membuat proses pembakaran menjadi tidak sempurna karena kekurangan Oksigen. Perlu menjadi catatan bahwa kadar Karbon Monoksida (CO) yang lebih besar dari 6% yang dihasilkan oleh sepeda motor dengan *ECU* Juken 5 pada kondisi idle sudah melewati ambang batas atas sebesar 3% dari emisi standar di beberapa negara Asia [23, 24]. Kadar emisi Hidrokarbon (HC) yang dihasilkan sepeda motor dengan *ECU* Juken 5 masih di bawah ambang batas atas (1000 ppm) emisi standar yang ada. Data jumlah konsentrasi HC hasil pengukuran ini cukup konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya untuk sepeda motor yang dilengkapi dengan mesin 4-langkah [25, 26]. Berdasarkan data hasil pengujian emisi, sepeda motor yang dilengkapi dengan *ECU* Juken 5 tidak boleh dibiarkan dalam kondisi *idle* dalam jangka waktu yang lama karena tingkat emisi yang tinggi.

Hasil pengukuran kadar Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO_2) dan Hidrokarbon (HC) pada gas buang sepeda motor pada kondisi *peak power* dapat dilihat pada Tabel 3.

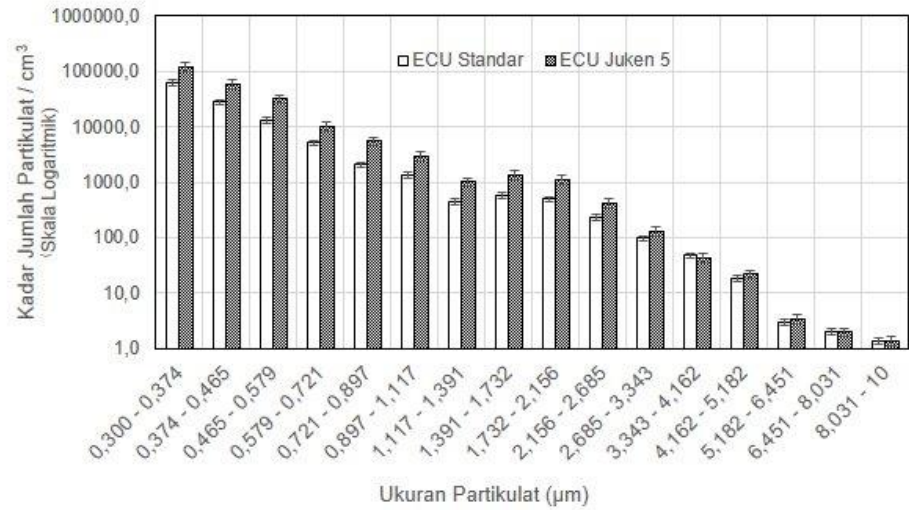
Tabel 3. Hasil pengujian emisi gas buang pada kondisi *peak power*.

EMISI GAS BUANG	ECU STANDAR	ECU JUKEN 5
Karbon Monoksida (CO) (%)	0,155 ± 0,12	2,420 ± 0,38
Karbon Dioksida (CO_2) (%)	12,05 ± 0,6	11,75 ± 0,5
Hidrokarbon (HC) (ppm)	37 ± 26	211 ± 34

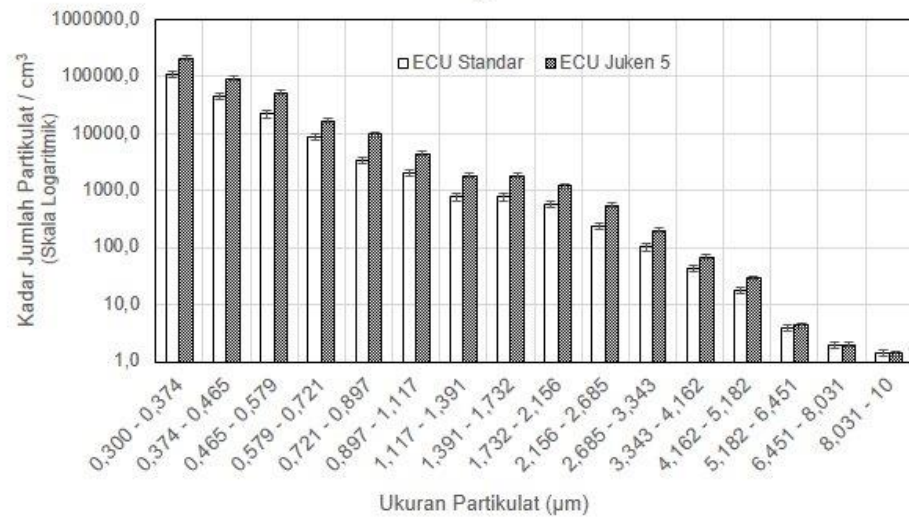
Data pengukuran menunjukkan bahwa kadar emisi Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) untuk kedua tipe *ECU* mengalami penurunan sedangkan Karbon Dioksida (CO_2) meningkat pada saat putaran mesin berada pada kondisi *peak power* dibandingkan ketika *idle*. Hal ini disebabkan karena *ECU* diprogram untuk memastikan proses pembakaran terjadi dalam kondisi paling optimal di mana rasio antara bahan bakar dengan udara di ruang bakar mendekati rasio stoikiometri (*stoichiometric ratio*) ideal untuk dapat menghasilkan daya luaran maksimum. Sama seperti pada kondisi *idle*, penggunaan *ECU* Juken 5 berdampak pada peningkatan kadar emisi CO dan HC yang signifikan. Peningkatan emisi terjadi karena *mapping* pada *ECU* Juken 5 menambahkan suplai bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan cara mengatur ulang durasi penginjeksian dan waktu pengapian demi meningkatkan daya/torsi sepeda motor. Akibatnya, proses pembakaran terjadi pada kondisi kaya (*rich mixture*) dan emisi gas buang meningkat [27]. Di sisi lain, pengaturan *ECU* standar pada sepeda motor difokuskan untuk menghasilkan proses pembakaran yang optimal dan efisien sehingga kadar emisi gas buangnya menjadi lebih rendah.

Hasil distribusi kadar jumlah partikulat (*particle number concentration*) yang diukur dengan menggunakan *Optical Particle Sizer* (OPS) dapat dilihat di Gambar 3. Bilah kesalahan adalah *standard error* dari hasil tiga kali pengukuran. Emisi partikulat (*particulate emissions*) adalah hasil sampingan dari proses pembakaran bahan bakar fosil. Kendaraan

yang ditenagai oleh motor bensin memiliki kecenderungan untuk menghasilkan emisi partikulat berukuran kurang dari $0,1 \mu\text{m}$ atau yang sering disebut sebagai *ultrafine particulates*. Emisi partikulat yang berukuran sangat kecil telah diketahui memiliki dampak negatif pada kesehatan manusia [28, 29] dan pemanasan global [30].



(a)



(b)

Gambar 3. Jumlah kadar partikulat pada kondisi *idle* (a) dan *peak power* (b).

Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa sekitar 55% dari emisi partikulat yang dihasilkan oleh sepeda motor berukuran antara $0,3 - 0,374 \mu\text{m}$ yang merupakan ambang batas bawah dari alat ukur OPS dan sudah mulai mendekati kategori *ultrafine particulates*. Dapat diamati bahwa penggunaan *ECU Juken 5* menghasilkan peningkatan jumlah partikulat sebesar 89% untuk partikulat dengan ukuran di kisaran tersebut. Kenaikan jumlah partikulat yang berukuran kecil kemungkinan besar disebabkan oleh pembakaran yang terjadi dalam kondisi *rich mixture* sehingga meningkatkan peluang terbentuknya *nucleation mode* partikel yang terbentuk dari bahan bakar dan oli (*lubricant*) yang masuk ke dalam ruang bakar [31]. *Nucleation mode* partikulat ini adalah emisi yang tidak diinginkan karena terdiri dari Volatile

Organic Carbon (VOC) yang memiliki tingkat toksisitas yang tinggi [32]. Penggunaan *ECU* Juken 5 juga menghasilkan kenaikan jumlah emisi partikulat pada rentang ukuran 0,374 – 2,685 μm yang signifikan, dengan variasi peningkatan antara 100% sampai dengan 145% bila dibandingkan dengan *ECU* standar pabrikan. Partikel berukuran besar pada umumnya terbentuk dari kombinasi hasil proses koagulasi (*coagulation*) antar partikel dan proses pertumbuhan (*surface growth*) yang berasal dari kondensasi sisa bahan bakar, oli dan zat organik lain pada permukaan partikulat [33]. *ECU* Juken 5 yang menginjeksikan bahan bakar dalam jumlah lebih banyak mendorong terbentuknya partikel berukuran besar karena adanya peningkatan jumlah *nucleation mode* partikel yang dikombinasikan dengan keberadaan sisa residu bahan bakar yang tidak ikut terbakar sepenuhnya.

3.3. Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

Hasil dari data konsumsi bahan bakar yang dimiliki sepeda motor ketika menggunakan *ECU* standar dan *ECU* Juken 5 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian konsumsi bahan bakar.

METODE FULL TO FULL				
Tipe ECU	Jarak (km)	Bahan Bakar (l)	Tingkat Ekonomis Bahan Bakar (km/l)	Konsumsi Bahan Bakar (l / km)
ECU Standar	15	0,22	68,18	0,015
ECU Juken 5	15	0,36	41,67	0,024

Dapat dilihat bahwa ketika sepeda motor menggunakan *ECU* Juken 5 didapatkan konsumsi bahan bakar menjadi lebih boros yaitu 0,024 liter/km dibandingkan pada saat sepeda motor menggunakan *ECU* standar di mana konsumsi bahan bakar lebih irit yaitu 0,015 liter/km. Hasil pengujian konsumsi bahan bakar ini mengonfirmasikan bahwa cara kerja *ECU* Juken 5 untuk menghasilkan daya luaran dan torsi yang lebih besar adalah dengan menambahkan jumlah bahan bakar selama proses injeksi tanpa mempertimbangkan faktor efisiensi bahan bakar (*fuel efficiency*) dari sepeda motor.

4. KESIMPULAN

Hasil kajian eksperimental tentang perbandingan antara sepeda motor dengan *ECU* standar dan *ECU* Juken 5 menunjukkan adanya rata-rata peningkatan daya luaran dan torsi sebesar $8,09 \pm 1,30$ % dan rata-rata kenaikan torsi sebesar $7,79 \pm 1,31$ %. Akan tetapi, peningkatan performa sepeda motor Yamaha R15-V3 setelah menggunakan *ECU* Juken 5 disertai dengan peningkatan emisi gas buang. Dari hasil pengukuran *Exhaust Gas Analyzer* pada kondisi *idle* dan *peak power*, diketahui bahwa terjadi rata-rata peningkatan kadar Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) masing-masing sebesar 1700% dan 360%, serta penurunan Karbon Dioksida (CO₂) sebesar 21% pada saat sepeda motor menggunakan *ECU* Juken 5. Peningkatan jumlah emisi partikulat secara signifikan juga diamati di mana penggunaan *ECU* Juken 5 menghasilkan kenaikan sebesar 89% untuk partikulat berukuran 0,3 – 0,374 μm dan peningkatan sampai dengan 145% untuk partikulat pada rentang ukuran 0,374 – 2,685 μm . Hasil pengujian konsumsi bahan bakar menemukan bahwa penggunaan *ECU* Juken 5 meningkatkan konsumsi bahan bakar sampai dengan 63,6% bila dibandingkan dengan *ECU* standar. Berdasarkan analisis dari data hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa *ECU* Juken 5 bekerja dengan cara meningkatkan suplai bahan bakar ke dalam ruang bakar untuk menghasilkan daya dan torsi sepeda motor yang lebih besar sehingga konsumsi bahan bakar menjadi lebih boros dan kadar emisi gas buang menjadi lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] CNN, Sensus kendaraan di Indonesia, <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20210203115349-384-601700/sensus-kendaraan-di-indonesia-lebih-dari-133-juta-unit>. Diakses: Juni 2021.
- [2] Badan Pusat Statistik, Perkembangan jumlah kendaraan bermotor menurut jenis periode 2017-2019, <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/jumlah-kendaraan-bermotor.html>. Diakses: Januari 2022.
- [3] Raharja, E., Sepeda motor jadi penyumbang terbanyak polusi udara, <https://www.medcom.id/otomotif/motor/8N000qMN-sepeda-motor-jadi-penyumbang-terbanyak-polusi-udara>. Diakses: Januari 2022.
- [4] Ismiyati, Marlita, D., Saidah, D., “Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor”, *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, v. 1, n. 3, pp. 241–247, Nov. 2014.
- [5] Wahyudi, N., “ Studi eksperimen pengaruh variasi perubahan sudut injektor pada system EFI terhadap performa motor 4 langkah”, *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)*, v. 1, n. 1, pp. 47–52, Feb. 2017.
- [6] Reddy, K.V.M.K, Reddy, B.M., Reddy, K.C.S., Kartheek, P., Adarsh, T.S., “Comparative investigation of electronic fuel injection in two-wheeler applications: A review”, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, v. 1116, n. 1, 012073, Apr. 2021.
- [7] Buthker, G.S., *Automated vehicle electronic control unit (ECU) sensor location using feature-vector based comparisons*, M.Sc. Thesis, Wright State University, Dayton, Ohio, United States, 2019.
- [8] Ilyas, S., Naveed, U., Khalid, J., "Improving fuel consumption using Electronic Fuel Injection Technology for low-powered Motorbike Engine", In: *2020 17th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)*, 236-243, Islamabad, Pakistan, 14-18 January 2020.
- [9] Syaka, D.R.B., Purwoko, A.T., Sopiyan, “Design and experiment of a prototype electronic control unit direct injection fuel system arduino-based for 2-stroke spark ignition engine”, *Automotive Experiences*, v. 5, n. 1, pp. 49-56, Nov. 2021.
- [10] Suarta, I.M., Sopan Rahtika, I.P.G., Sunu, P.W., Susila, N.D., Bangse, K., “The comparison of exhaust gas emission between conventional and electronic fuel injection system”, In: *Proceedings of the International Conference on Innovation in Science and Technology (ICIST 2020)*, pp. 364-368, Semarang, Nov. 2021.
- [11] Petrea, N D, Bujoreanu, C., “Importance of fuel injection system for low emissions, combustion noise and low fuel consumption”, *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, v. 444, n. 4, 042020, Nov. 2018
- [12] Katijan, A., Latif, M.F.A., Zahmani, O.F., Shahid Zaman, S., Kadir, K. A., Veza, I., “An experimental study for emission of four stroke carbureted and fuel injection motorcycle engine”, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, v. 62, n. 2, pp. 256-264, Oct. 2019.
- [13] Bhowmick, G., Sahoo, T., Bhat, A., Mathur, G., Gambhir, D., “Approach for CO2 reduction in India’s automotive sector”, *SAE Technical Paper*, no. 2019-28-2388, Nov. 2019.
- [14] Setiyo, M., Utoro, L., “Remapping engine control unit (ECU) untuk menaikkan unjuk kerja mesin sepeda motor”, *Jurnal Mesin Teknologi (SINTEK Jurnal)*, v. 11, n. 2, pp. 62–68, Des. 2017.

- [15] Adiyasa, W., Yudianto, A., Kurniadi, N., Sutiman, “*Applied programmable ECU on an internal combustion engine single cylinder 600 cc for Student Formula Japan*”, *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1273, 012065, No. 2019.
- [16] Bigoš, P., Puškár, M., “*Increasing of power output of racing motorcycle engine using of exhaust system optimisation*”, *Acta Mechanica Slovaca*, v. 15, n. 1, pp. 71-77, Mar. 2011.
- [17] Rahmad, H., Sasongko, M.N., Widjayanti, W., “*Pengaruh prosentase etanol terhadap torsi dan emisi motor indirect injection dengan memodifikasi engine control module*”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 7, n. 2, pp. 49-54, Agu. 2016.
- [18] Manivannan, P., Ramesh A., “*Development of a system for control of air fuel ratio in a small two wheeler engine*”, *SAE Technical Paper*, no. 2008-28-0054, Sep. 2008.
- [19] Badrawada, I.G.G., Susastriawan, A.A.P., Pambudi, A., “*Pengaruh Electronic Control Unit Racing dan jenis bahan bakar terhadap performa sepeda motor 1 silinder 4 langkah*”, *Jurnal Teknologi*, v. 13, n.2, pp. 144-147, Des. 2020.
- [20] Afwan, M.A., Rahardjo, W.D., “*Pengaruh penggunaan ECU standard an ECU Juken dengan variasi injektor terhadap torsi dan daya sepeda motor Yamaha V-ixion*”, *Automotive Science and Education Journal*, v. 9, n. 1, pp. 25-30, Des. 2020.
- [21] Tristanto, V., Paryono, & Sumarli, “*Pengaruh penggunaan injektor Vixion dan ECU Racing pada sepeda motor Yamaha Mio J terhadap daya motor*”, *Jurnal Teknik Mesin*, v. 24, n. 2, pp. 1-10, Des. 2016.
- [22] Amaral, A.A.D., Saidatin, N., Mahmud, R., Rohmawati, I., “*Pengaruh ECU (Electronic Control Unit) dan variasi tipe jumlah hole injector terhadap performa engine single cylinder 4 langkah*”, In: *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan II (SENASTITAN II)*, pp. 373-378, Surabaya, Mar. 2022.
- [23] *National Environmental Agency, Reducing pollution from in-use vehicles to achieve better air quality*, <https://www.nea.gov.sg/media/news/news/reducing-pollution-from-in-use-vehicles-to-achieve-better-air-quality>. Diakses: Januari 2022.
- [24] Shah, J., & Bhaopichitr, K., Thailand: *reducing emissions from motorcycles in Bangkok*, In: *World Bank Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP) Report*, World Bank, Washington, D.C., 2003.
- [25] Rusdiani, R.R., *Kajian faktor emisi kendaraan bermotor bahan bakar gasolin roda dua di kota Surabaya*, Master Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2018
- [26] *Chemonics International, Vehicle emissions testing component: motorcycle emissions. Cairo Air Improvement Project Report*, USAID, Cairo, 2020.
- [27] Al-Arkawazi, S.A.F.,” *Analyzing and predicting the relation between air–fuel ratio (AFR), lambda (λ) and the exhaust emissions percentages and values of gasoline-fueled vehicles using versatile and portable emissions measurement system tool*”, *SN Applied Sciences*, v. 1, pp. 1370, Okt. 2019.
- [28] Rossi, S., Buccarello, A., Malvezzi, C.C., Pinelli, S., Alinovi, R. Gerboles, A.G., Rozzi, G., Leonardi, F., Bollati, V., De Palma, G., Lagonegro, P., Rossi, F., Lottici, P.L., Poli, D., Statello, R., Macchi, E., Miragoli, M., “*Exposure to nanoparticles derived from diesel particulate filter equipped engine increases vulnerability to arrhythmia in rat hearts*”, *Environmental Pollution*, v. 284, pp. 117163, Sep. 2021,
- [29] Ioannis, M., Elisavet, S., Agathangelos, S., Eugenia, B., “*Environmental and health impacts of air pollution: A review*”, *Frontiers in Public Health* , v. 8, article no. 14, Feb. 2020.

- [30] Chen, S.L., Chang, S.W., Chen, Y.J., Chen, H-L,” *Possible warming effect of fine particulate matter in the atmosphere*”, *Communications Earth & Environment*, v. 2, no. 208, Okt. 2021.
- [31] Fushimi, A., Kondo, Y., Kobayashi, S., Fujitani, Y., Saitoh, K., Takami, A., Tanabe, K., “*Chemical composition and source of fine and nanoparticles from recent direct injection gasoline passenger cars: Effects of fuel and ambient temperature.*”, *Atmospheric Environment*, v. 124, pp. 77-84, Jan. 2016.
- [32] Raza, M., Chen, L., Leach, F., Ding, S., “*A review of particulate number (PN) emissions from gasoline direct injection (GDI) engines and their control techniques*”, *Energies*, v. 11, n. 6, pp. 1417, Jun. 2018.
- [33] Yi, H., Seo, J., Yu, Y.S., Lim, Y., Lee, S., Lee, J., Song, H., Park, S., “*Effects of lubricant-fuel mixing on particle emissions in a single cylinder direct injection spark ignition engine*”, *Scientific Reports*, v. 12, no. 18, Jan. 2022.