

PERBANDINGAN VARIASI DURASI INJEKSI DAN WAKTU PENGAPIAN TERHADAP PERFORMA DAYA MESIN MOTOR 4 LANGKAH MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR PERTAMAX

*Injection Duration and Ignition Timing Variations Comparison to Power Performance of
4 Stroke Engine Motorcycle Using Pertamina Fuel*

Darwin Rio Budi Syaka¹, Imam Mahir², Guruh Muharrom Muslim^{2*}

¹ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Jakarta, Rawamangun, Indonesia.

² Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Jakarta, Rawamangun, Indonesia.

* Email Korespondensi : guruhmuharrommuslim@gmail.com

Artikel Info - : Diterima : 11-07-2022; Direvisi : 15-09-2022; Disetujui : 02-10-2022

ABSTRAK

Komponen utama sistem injeksi adalah *electronic control unit* (ECU) berfungsi mengoptimalkan kinerja mesin kendaraan. ECU memiliki fungsi durasi injeksi dan waktu pengapian sebagai pengontrol injektor dan pengapian. Tujuan penelitian menganalisis perbandingan dan perbedaan variasi pengaturan durasi injeksi dan waktu pengapian mesin motor injeksi terhadap keluaran daya mesin menggunakan bahan bakar pertamax dengan metode eksperimen. Pengukuran daya serta torsi mesin motor menggunakan *Dynamometer*. Untuk mengukur *running time* dan konsumsi bahan bakar menggunakan *stopwatch* dan buret. Data yang dikumpulkan diolah menggunakan rumus konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dan Efisiensi Thermis. Adanya perbandingan dan perbedaan daya dan torsi pada masing-masing variasi pengaturan ECU *programmable* dan ECU standar. Hasil daya dan torsi rata-rata tertinggi pada pengaturan ECU Standar dibandingkan pengaturan ECU *programmable* memiliki daya dan torsi rata-rata yang lebih rendah. Dikarenakan durasi injeksi dan waktu pengapian yang berbeda-beda tiap pengaturan menimbulkan daya dan torsi yang dihasilkan mesin sepeda motor bisa lebih tinggi atau lebih rendah tiap variasi pengaturan ECU *programmable*. Nilai SFC dan efisiensi *thermis* rata-rata ECU *programmable* lebih unggul dibandingkan nilai SFC dan efisiensi *thermis* rata-rata pengaturan ECU standar. Selain perbedaan keluaran daya dan torsi mesin juga memiliki perbedaan nilai SFC dan efisiensi *thermis* rata-rata yang dihasilkan berbeda-beda setiap variasi pengaturan ECU *programmable*.

Kata Kunci: ECU, Daya, Torsi, Durasi Injeksi, Waktu Pengapian, Efisiensi Thermis

ABSTRACT

The main component of the injection system is the electronic control unit (ECU) functions to optimize the performance of the vehicle engine. The ECU has the functions of injection duration and ignition time as an injector and ignition controller. The purpose of the study analyzed the comparison and differences in variations in the regulation of injection duration and ignition time of injection motor engines against the power output of the engine using Pertamina fuel by experimental methods. There are comparisons and differences in power and torque in each variation of the programmable ECU and standard ECU settings. The highest average power and torque results at the standard ECU setting compared to the programmable ECU setting have lower average power and torque. Due to the different injection duration and ignition time of each setting, the power and torque generated by the motorcycle engine can be higher or lower per variation of the Programmable ECU setting. In addition to the difference in power output and engine torque, it also has differences in SFC values and the average Thermis Efficiency produced varies by variation of the programmable ECU settings.

Keywords: ECU, Power, Torque, Injection Duration, Ignition Timing, Thermal Efficiency

1. Pendahuluan

Sebagai hasil dari kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini, teknologi sistem bahan bakar *electronic fuel injection* (EFI) dikembangkan untuk menggantikan peran sistem bahan bakar konvensional dalam industri otomotif (Karburator). Konstruksi mesin motor yang memiliki rasio kompresi yang tinggi 11:1 berarti mesin harus terhindar dari gejala "ngelitik/*knocking*" dikarenakan campuran bahan bakar serta udara terbakar sebelum busi dicetuskan, itulah sebabnya Pertamina menyebut bahan bakar pertamax yang digunakan mendukung kinerja mesin. Maka dari itu dianjurkan menggunakan bahan bakar dengan nilai *research octane number* (RON) diatas 91. Sehingga pertamax RON 92 dipilih sebagai bahan bakar untuk pengujian kali ini.

Dari perkembangan ilmu teknologi membuat sistem EFI semakin digemari masyarakat. Sebagai hasilnya, *electronic control unit* (ECU) *programmable/racing* telah muncul, dan ini dapat digunakan oleh masyarakat umum serta dalam balap sepeda motor injeksi untuk meningkatkan kinerja mesin. Sistem injeksi bahan bakar elektronik menggunakan pompa bahan bakar elektrik untuk memompa bahan bakar dari tangki ke *injector*. Selain itu, sensor mengirimkan sinyal *input* ke ECU berdasarkan kondisi mesin. Sistem injeksi bahan bakar dikendalikan oleh ECU, yang mengirimkan perintah ke *injector*. Sistem bahan bakar sepeda motor berguna sebagai sumber bahan bakar, mengontrol jumlah campuran udara dan bahan bakar menuju ruang bakar dan menghilangkan kotoran (kontaminan) dan air dari bahan bakar. Suplai bahan bakar juga harus disesuaikan dengan kebutuhan mesin (berdasarkan jumlah beban kerja pada setiap putaran mesin). Campuran bahan bakar dan udara yang sesuai sangat penting karena menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dan sebagai hasilnya kinerja yang lebih baik. Efisiensi dan efektivitas bahan bakar meningkat karena sistem bahan bakar yang diinjeksi bekerja secara optimal dalam hal pencampuran bahan bakar dan udara. ECU adalah bagian penting dari sistem injeksi bahan bakar karena sering bertanggung jawab untuk mengoptimalkan kinerja mesin kendaraan. Dalam hal pengontrolan aliran bahan bakar, ECU ini berfungsi sebagai pengontrol waktu pengapian/*ignition timing controller* (IGT) atau pengontrol durasi injeksi/*injection duration controller* (ID). ECU *programmable* ini dapat diatur dalam pengaturan normal/standar atau dalam mode performa (pengaturan balap atau pengaturan kencang) karena penyetelan ID, IGT, dan injeksi bahan bakar semuanya digunakan untuk mencapai tingkat kontrol ini. ECU *programmable* dapat diprogram dalam mode normal dan performa. Karenanya, studi lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi dampak penyesuaian pengaturan ECU terhadap kinerja mesin bensin empat langkah.

Hasil eksperimen yang dilakukan oleh Aji dan Danardono dengan memajukan waktu pengapian sebesar 4° dapat meningkatkan performa mesin. Hasil dari perubahan penggunaan bahan bakar *ethanol* E25 serta memajukan waktu pengapian sebesar 4° dapat meningkatkan performa torsi dan tenaga mesin, *brake mean effective pressure* (BMEP), efisiensi *thermal* mesin dan mengurangi *brake-specific fuel consumption* (BSFC) atau konsumsi bahan bakar pada mesin [1].

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Anwar dkk menunjukkan peningkatan tenaga dan torsi ketika waktu pengapian standar ditingkatkan menjadi 18° dan 21° sebelum titik mati atas (TMA) dan ketika rasio kompresi standar ditingkatkan menjadi 9,3:1 dan 9,8:1. Tenaga dan torsi juga meningkat dengan rasio kompresi 9,3:1 pada pengapian 18° dan 21° sebelum titik mati atas (TMA) dibandingkan dengan kondisi standar, namun menurun pada rasio kompresi 9,8:1 dengan pengapian 18° dan 21° sebelum titik mati atas (TMA) [2].

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Arif dkk menunjukkan bahwa perubahan tekanan efektif rata-rata antara bahan bakar tunggal dan bahan bakar ganda relatif kecil, karena perubahan arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator juga kecil. Pada saat yang sama, efisiensi termal yang optimal didapatkan dengan pengaturan waktu injeksi 35° setelah titik mati atas (TMA) dan durasi injeksi 25 ms, yaitu efisiensi termal rata-rata berkurang 31,51% dibandingkan dengan bahan bakar tunggal [3].

Tujuan penelitian yang dilakukan oleh Dedet dan Saputra ini adalah untuk mendapatkan durasi injeksi optimal per putaran dicapai dalam mesin bensin 1 silinder empat langkah yang disuplai dengan E85 menurut metode torsi maksimum terbaik (MBT) Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa durasi injeksi

optimal maksimal pada E85 menggunakan metode torsi maksimum terbaik (MBT). Berdasarkan hasil penelitian, durasi injeksi optimal adalah 200% pada putaran mesin 2000-3000 rpm, 175% pada putaran mesin 5000-6000 rpm dan 150% pada putaran mesin 7000-8000 rpm [4].

Untuk lebih memahami dampak pada performa mesin dari durasi *injector* dan variasi waktu pengapian pada mesin H15 dengan ECU yang dapat diprogram, Handoko dan Arifin melakukan penelitian tentang topik tersebut. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa ECU yang dapat diprogram pada *juken* Yamaha Vixion berdampak pada torsi mesin. Peningkatan torsi mesin yang di modifikasi berkisar dari 9,67 Nm pada 125 cc hingga 120 cc. Pada pengujian ke 5, durasi injeksi serta waktu pengapian ECU *programmable juken* 2 Yamaha Vixion disetel dengan benar untuk meningkatkan torsi mesin dari 5,08 Nm menjadi 14,56 Nm. Hasil dua mesin 7.0 tenaga kuda 125cc ke 120cc dimodifikasi. Peningkatan tenaga mesin dicapai sebesar 3,1 HP di pengujian ke 5 dengan mengoreksi durasi injeksi dan waktu pengapian [5].

Dari penelitian yang dilakukan oleh Hartono dkk didapatkan *mapping* durasi injeksi yang tepat pada putaran 2.000 hingga 4.000 rpm adalah 150%, sedangkan pada putaran 5.000 hingga 8.000 rpm, durasi terbaik 125%. Sedangkan untuk *mapping* waktu pengapian didapatkan pada rentang 16° dan 20° BTDC [6]. Selanjutnya, hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Junipitoyo dan Rifai menunjukkan bahwa dengan mengatur rasio kompresi dan durasi injeksi pada mesin bensin 50% ethanol (E50) dengan rasio kompresi 11:1 tercatat peningkatan torsi dan tenaga meningkat sebesar 9% (torsi) dan 4,08% (tenaga) dibandingkan kondisi normal menggunakan bensin murni dengan rasio kompresi 9,6:1. Meskipun pengaruh rasio kompresi dan durasi injeksi pada E50 dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) sebesar 2,1% dan efisiensi termal sebesar 9,2% [7].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Rastoto dkk dapat disimpulkan: 1) Perubahan waktu pengapian (*ignition timing*) saat menggunakan *liquefied petroleum gas* (LPG) akan mempengaruhi hasil emisi gas buang CO dan HC. 2) Nilai emisi CO pada 7° sebelum titik mati atas (TMA) sebesar 0,041%, nilai emisi CO pada 10° sebelum titik mati atas (TMA) sebesar 0,052%, sedangkan nilai emisi CO pada 13° sebelum titik mati atas (TMA) sebesar 0,098%. 3) Kadar emisi gas buang HC dengan pengapian 7° sebelum titik mati atas (TMA) adalah 130 pm, kadar emisi gas buang HC dengan pengapian 10° sebelum titik mati atas (TMA) adalah 272,67 pm, sedangkan kadar emisi gas buang HC dengan pengapian 13° sebelum titik mati atas (TMA) adalah 473,33 pm. 4) Waktu pengapian 13° sebelum titik mati atas (TMA) meningkatkan kadar emisi gas buang CO dan HC, sementara pengapian 7° sebelum titik mati atas (TMA) mengurangi emisi gas buang CO dan HC tetapi menurunkan tenaga mesin [8].

Hasil penelitian Siswanto dan Efendi menunjukkan bahwa: 1) Sepeda motor dengan CDI original menghasilkan tenaga maksimal 8 HP pada 6.542 rpm dan torsi maksimal 10,12 Nm pada 5.085 rpm. Setelah mengganti CDI dengan CDI yang dapat diprogram, tenaga maksimum menjadi 8,2 HP. pada 6.556 rpm dan torsi 10,33 Nm pada 4.670 rpm. 2) Ada perbedaan tenaga mesin saat menggunakan CDI *original* dan CDI *programmable*. Tenaga maksimal tersebut dicapai dengan hampir semua varian CDI yang bisa diprogram, yaitu 8,2 HP. Torsi maksimum dicapai dengan mengubah waktu CDI yang dapat diprogram sebesar 2°, yang berarti 10,33 Nm pada 4.670 rpm [9].

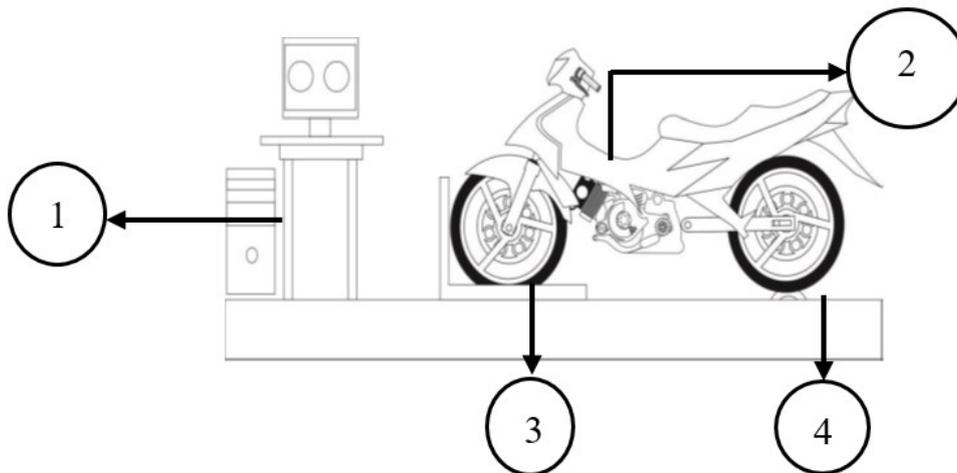
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pratama dan Wailandouw dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan bakar jenis Pertamina (RON 92) dan perubahan waktu pengapian dapat meningkatkan performa mesin, menghemat bahan bakar dan mengurangi emisi. Empat perubahan waktu pengapian digunakan untuk menunjukkan bahwa kelima parameter torsi, daya, konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang optimal (HC) pada pengapian 17,5° sebelum titik mati atas (TMA), sedangkan emisi gas CO terendah terjadi pada pengapian 22,5° sebelum titik mati atas (TMA) [10].

Dari hasil studi yang telah dilakukan seperti di atas, diharapkan mampu membantu masyarakat agar lebih memahami dampak penggantian ECU standar dengan jenis ECU *programmable* yang saat ini beredar di pasaran, serta pengaturan yang paling sesuai dengan kebutuhan mereka, baik dari segi konsumsi bahan bakar (*fuel efficiency*) serta peningkatan performa untuk penggunaan mesin standar pabrik.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengujian performa mesin sepeda motor 4 langkah menggunakan alat *Dynamometer*. Pengujian dilakukan dengan memposisikan sepeda motor pada alat *Dynamometer*, selanjutnya mesin dihidupkan dan diuji dalam variasi putaran mesin (rpm) dan hasil pengujian dengan alat *Dynamometer* dapat dibaca pada layar monitor. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing variasi pengaturan ECU. Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian terdiri dari :

1. Alat *Dynotest (Dynamometer)*, *Dynamometer* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur torsi dan daya sebuah mesin.
2. PC atau Komputer, berfungsi sebagai sarana mengolah keluaran data yang didapat dari *Dynamometer*.
3. *Tachometer*, berfungsi mengukur putaran mesin per menit.
4. Tangki Cadangan, berfungsi sebagai alat bantu untuk mengukur konsumsi bahan bakar saat melakukan pengujian daya pada kendaraan motor.
5. Buret, berfungsi sebagai alat ukur besarnya konsumsi bahan bakar saat melakukan pengujian.
6. *Stopwatch*, berfungsi mengukur waktu yang dicapai setiap sesi pengujian daya motor dilakukan.
7. Motor Honda CB150R.
8. ECU (standar dan *programmable*), berfungsi sebagai pengatur keseluruhan sistem kerja mesin motor, baik sistem bahan bakar, sistem induksi udara, sistem kelistrikan dan sistem pengapian.
9. Bahan bakar pertamax, berfungsi sebagai bahan bakar minyak untuk proses pengujian mesin motor 4 langkah.

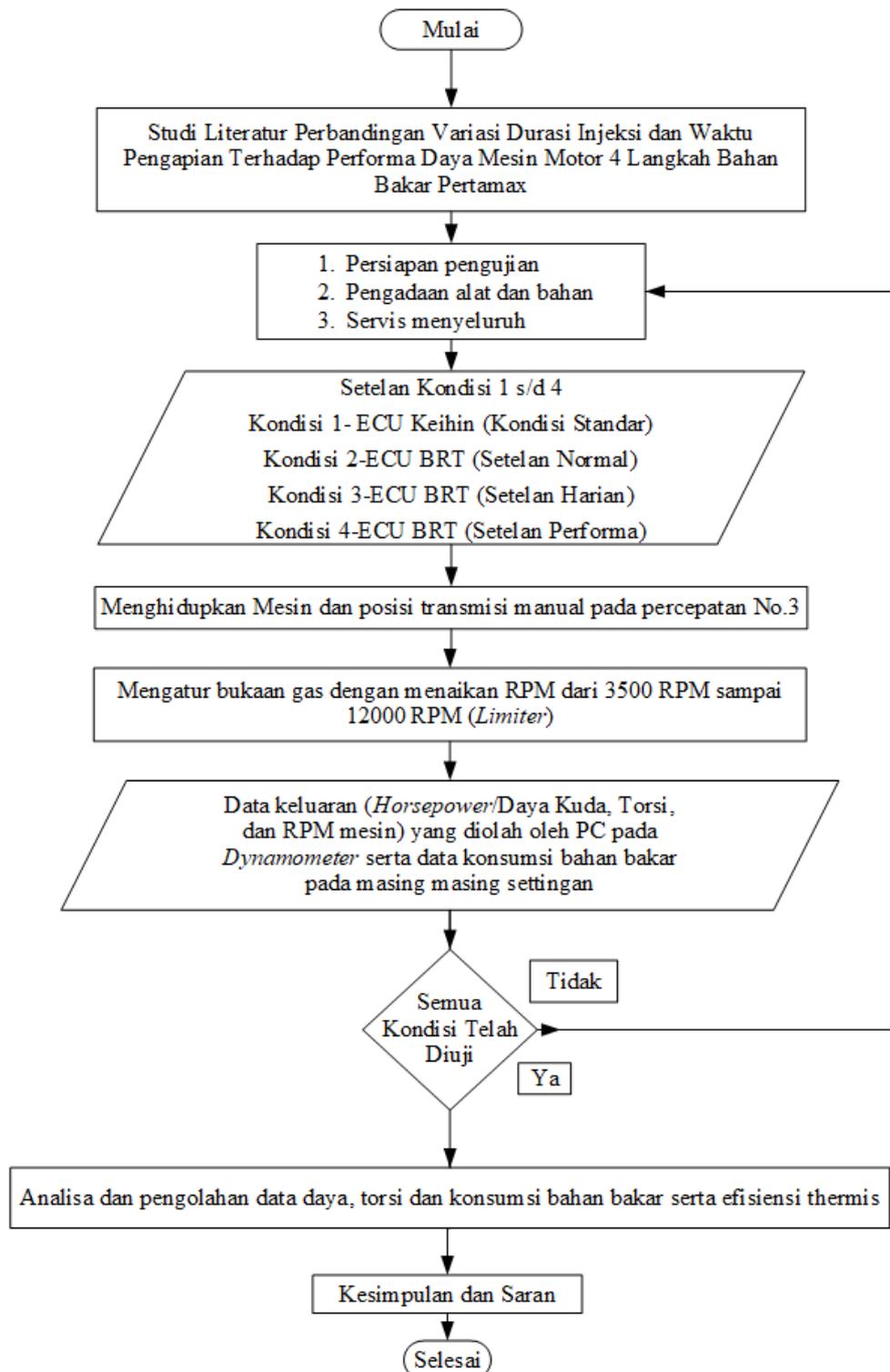


Gambar 1. Skema Alat Uji Daya dan Torsi pada Sepeda Motor

Keterangan gambar:

1. PC atau komputer *Dynamometer*
2. Sepeda motor
3. Pengaman roda depan sepeda motor
4. *Drum Dynamometer*

Di bawah ini terdapat diagram alir penelitian untuk menjelaskan tahapan penelitian performa motor mulai dari penyiapan alat dan bahan hingga akhir penelitian yang berkaitan dengan data penelitian yaitu tenaga maksimum dan torsi maksimum.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

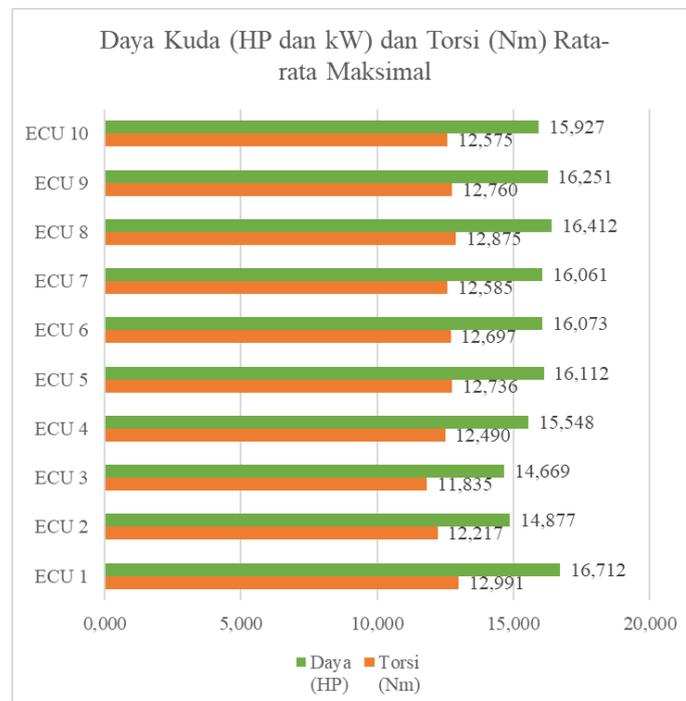
Teknik pengumpulan data penelitian ini adalah dengan mengukur kinerja mesin yang akan diteliti dan mencatat informasi yang diperlukan. Data yang dibutuhkan adalah daya dan torsi untuk setiap putaran mesin (RPM) dengan menggunakan waktu injeksi dan waktu pembakaran yang berbeda. Diperlukan minimal 2-3 orang untuk melakukan pengujian, yang berperan sebagai operator alat uji, mendokumentasikan proses pengujian, mengamati dan mencatat hasil pengujian. Pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur pengoperasian alat *Dynotest* dengan menghidupkan mesin dan mengakselerasinya berulang kali untuk mendapatkan hasil yang terbaik.

Data yang diperoleh berupa hasil daya kuda dan torsi pada tiap putaran mesin serta menghitung berapa jumlah bahan bakar pada setiap *running test*. *Running test* dilakukan pada setiap pengaturan ECU. Teknik analisis data yang digunakan adalah metode analisis deskriptif. Hal ini dilaksanakan untuk memberikan gambaran terhadap performa mesin yang terjadi sebelum (menggunakan ECU Standar) dan setelah dilakukan perubahan durasi injeksi dan waktu pengapian menggunakan ECU *programmable*.

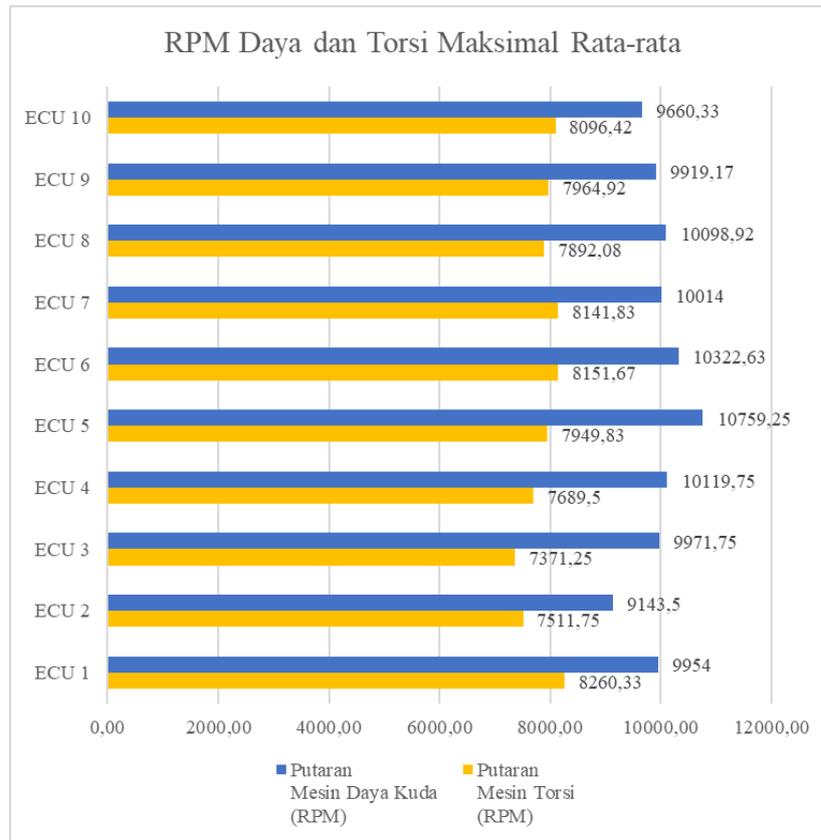
Untuk mempermudah pembacaan, maka hasil pengujian akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Langkah selanjutnya adalah mendeskripsikan data dalam grafik tersebut menjadi kalimat yang mudah di baca, dipahami, dan dipresentasikan sehingga pada intinya adalah sebagai upaya mencari jawaban atas permasalahan yang di teliti.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Dari keseluruhan pengujian sepeda motor menggunakan pengaturan ECU standar dan pengaturan ECU *programmable* dengan *Dynamometer* yang telah dilakukan, diperoleh 10 data daya kuda rata-rata maksimal dan torsi rata-rata maksimal dari masing-masing variasi pengaturan yang telah diuji. Berdasarkan pengujian dengan *Dynamometer* maka hasil daya kuda terbaik dari masing-masing variasi pengaturan (ECU 1 "ECU standar, ECU 2 – ECU 10 "variasi ECU *programmable*") dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. ECU 1 merupakan ECU standar, ECU 2- ECU 10 merupakan variasi ECU *programmable*.



Gambar 3. Grafik Daya Kuda (*Horse Power* / HP) Dan Torsi (Nm) Rata-Rata Maksimal Pada Setiap Pengaturan ECU

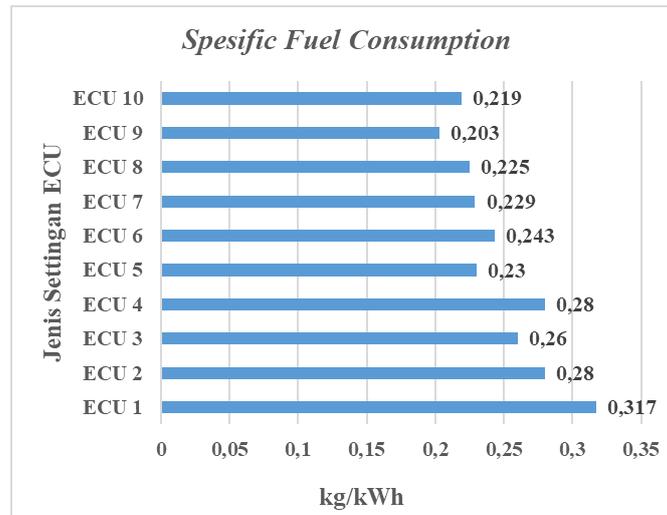


Gambar 4. Grafik Putaran Mesin Daya, Dan Torsi Rata-Rata Maksimal Pada Setiap Pengaturan ECU

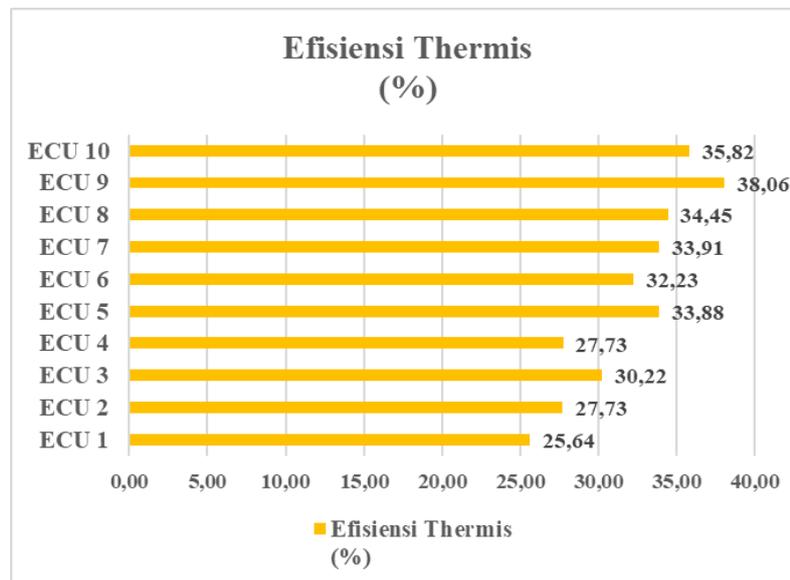
Pada Gambar 3 dan 4 menunjukkan perbandingan dan perbedaan kurva kinerja mesin pada setiap variasi pengaturan ECU terbaik dengan hasil daya kuda yang optimal. Hal ini bisa dilihat dari hasil daya kuda yang paling maksimal terdapat di pengaturan ECU standar dengan daya kuda rata-rata yang diperoleh sebesar 16,712 HP atau 12,462 kW pada 9.954 rpm serta torsi rata-rata maksimal yang diperoleh sebesar 12,991 Nm pada 8.260,33 rpm. Sedangkan pada pengaturan ECU *programmable* diperoleh daya kuda rata-rata maksimal pada pengaturan performa waktu pengapian normal sebesar 16,412 HP atau 12,238 kW pada 10.100 rpm serta torsi rata-rata maksimal sebesar 12,875 Nm pada 7.892,08 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik pengaturan ECU standar bisa memaksimalkan kinerja mesin sepeda motor.

Perubahan durasi injeksi dan waktu pengapian yang tidak tepat dapat menurunkan daya kuda mesin yang dihasilkan oleh mesin sepeda motor. Hal ini terjadi karena jumlah bahan bakar yang terlalu sedikit di banding pengaturan normal dan pengaturan harian pada ECU *programmable* yang mengakibatkan tekanan pembakaran menjadi turun yang mengakibatkan daya juga turun. Sedangkan waktu pengapian yang terlalu maju dapat menimbulkan *knocking* pada mesin kendaraan yang juga dapat menurunkan performa pada mesin sepeda motor.

Pada Gambar 5 menunjukkan karakteristik konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (SFC) terbaik pada setiap variasi Pengaturan ECU mesin sepeda motor pada saat pengujian menggunakan *Dynamometer*. Semakin kecil nilai SFC semakin irit juga konsumsi bahan bakar yang digunakan mesin sepeda motor. Hal ini disebabkan karena perhitungannya melibatkan daya kuda yang dihasilkan, jumlah bahan bakar yang terpakai, dan waktu *running test* di setiap pengujian pada masing-masing variasi pengaturan ECU. Nilai rata-rata SFC terbaik pada pengaturan performa ECU *programmable* waktu pengapian maju 3° diperoleh rata-rata SFC sebesar 0,203 kg/kWh.



Gambar 5. Grafik *Specific Fuel Consumption* (SFC) rata-rata setiap pengaturan ECU



Gambar 6. Efisiensi Thermis Rata-Rata Pada Setiap Pengaturan ECU

Pada Gambar 6. menunjukkan karakteristik efisiensi thermis terbaik pada setiap variasi pengaturan ECU mesin sepeda motor yang telah di uji menggunakan *Dynamometer*. Efisiensi thermis dapat ditentukan berdasarkan SFC yang telah dihitung sebelumnya, maka dari itu efisiensi thermis yang diperoleh juga terbagi dua sesuai SFC yang diperoleh sebelumnya. Efisiensi Thermis menunjukkan seberapa efisien keluaran panas hasil pembakaran dalam ruang bakar yang diserap piston menjadi putaran mesin. Semakin besar persentase efisiensi *thermis* maka makin besar pula penyaluran energi panas hasil pembakaran pada ruang bakar menjadi putaran mesin.

Nilai efisiensi *thermis* terbaik pada pengaturan performa ECU *programmable* waktu pengapian maju 3° dengan rata-rata persentase sebesar 38,06 %. Nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan nilai efisiensi *thermis* pada teori sebelumnya yaitu antara 25-33 % dikarenakan SFC rata-rata yang dihasilkan cukup rendah pada pengaturan ini mengakibatkan nilai efisiensi *thermis* rata-rata yang didapatkan jauh lebih tinggi dibandingkan nilai standar pada teori sebelumnya.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukannya analisis dari hasil penelitian dan juga pembahasannya, sehingga diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Adanya perbandingan keluaran daya dan torsi mesin pada masing-masing variasi pengaturan ECU *programmable* dan ECU standar. Ini dibuktikan daya kuda dan torsi rata-rata tertinggi dihasilkan pada pengaturan ECU standar jika dibandingkan dengan pengaturan ECU *programmable* yang memiliki nilai daya kuda dan torsi rata-rata lebih rendah di setiap variasi pengaturan. Namun jika dibandingkan dengan nilai SFC rata-rata dan efisiensi *thermis* rata-rata pada ECU *programmable* lebih unggul dibandingkan dengan nilai SFC rata-rata dan efisiensi *thermis* rata-rata pada pengaturan ECU Standar. Adanya perbedaan keluaran daya dan torsi pada masing-masing variasi pengaturan ECU *programmable* dikarenakan durasi injeksi dan waktu pengapiannya berbeda-beda tiap pengaturan yang dapat menimbulkan keluaran daya dan torsi sepeda motor bisa lebih tinggi ataupun lebih rendah dari masing-masing variasi pengaturan ECU *programmable*. Selain memiliki perbedaan keluaran daya dan torsi pada masing-masing variasi pengaturan ECU *programmable* juga memiliki perbedaan nilai SFC rata-rata dan efisiensi *thermis* rata-rata yang berbeda untuk setiap variasi pengaturan ECU *programmable*.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Aji, B. Santoso, and D. Danardono, "Studi Eksperimental Pengaturan Waktu Pengapian Pada Mesin 4 Langkah 1 Silinder Berbahan Bakar E25," *J. Mekanika*, vol. 17, no. 2, pp. 33-38, 2018.
- [2] M. Anwar, W. Dwi Raharjo, and Wahyudi, "Pengaruh Pemajuan Waktu Pengapian Dan Peningkatan Rasio Kompresi Terhadap Daya dan Torsi Sepeda Motor Supra Fit dengan Bahan Bakar LPG," *J. Sains dan Tekno.*, vol. 15, no. 1, pp. 57-72, 2017.
- [3] A. Arif, N. Hidayat, and M. Setiawan, "Pengaruh Pengaturan Waktu Injeksi Dan Durasi Injeksi Terhadap Brake Mean Effective Pressure Dan Thermal Efficiency Pada Mesin Diesel Dual Fuel," *INVOTEK: J. Inov. Vok. dan Tekno.*, vol. 17, no. 2, pp. 67-74, 2017.
- [4] Y. M. Dedet, and E. Saputra, "Pemetaan Durasi Injeksi Dengan Metode Maximum Best Torque (MBT) Pada Mesin Otto 1 Silinder 4 Langkah Berbahan bakar Bioetanol 85% (E85)," *J. Inovtek: Inov. Tek. Seri Mesin*, vol. 1, no. 2, pp. 1-6, 2021.
- [5] C. Handoko, and Z. Arifin, "Pengaruh Perubahan Durasi Injeksi dan Timing Pengapian Terhadap Performa Mesin Honda Vario 125 Menggunakan ECU Programmable Juken 2 Yamaha Vixion Pada Mobil Hybrid H15 Garuda Uny," *J. Pend. Tek. Oto. Univ. Neg. Yogyakarta*, vol. 21, no. 2, pp. 199-205, 2018.
- [6] D. Hartono, M. Paloboran, and B. Sudarmanta, "Studi Eksperimental Pengaruh Mapping Waktu Pengapian dan Mapping Durasi Injeksi Serta Rasio Kompresi Terhadap Performansi dan Emisi Gas Buang Engine Honda CB150R Berbahan Bakar E50," *JTMI: J. Tek. Mes. Indonesia*, vol. 12, no. 2, pp. 77-82, 2017.
- [7] B. Junipitoyo, and M. Rifai, "Performa Mesin Bensin Berbahan Bakar Ethanol 50 dengan Pengaturan Kompresi Rasio Dan Durasi Injeksi," *J. Politeknik Penerbangan Surabaya*, vol. 2, no. 4, pp. 249-253, 2017.
- [8] N. D. E. Rastoto, Subagsono, and Basori, "Pengaruh Perubahan Waktu Pengapian (Ignition Timing) terhadap Emisi Gas Buang CO Dan HC Pada Sepeda Motor Vega R 110CC Tahun 2008 dengan Bahan Bakar LPG (Liquefied Petroleum Gas)," *NOSEL: J. Ilm. Pend. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 33-42, 2013.
- [9] I. Siswanto, and Y. Efendi, "Peningkatan Performa Sepeda Motor Dengan Variasi CDI Programmable," *Science Tech : J. Ilmiah Ilmu Peng. dan Tekno. Univ. Sarjanawiyata Tamansiswa Yogyakarta*, vol. 1, no. 1, pp. 59-67, 2015.
- [10] R. Y. N. Pratama, and A. G. Wailandouw, "Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Pertamina dan Waktu Pengapian (Ignition Timing) Terhadap Performa Mesin Dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Supra X 125cc Tahun 2008," *JTM: J. Tek. Mes. Univ. Negeri Surabaya*, vol. 3, no. 2, pp. 244-252, 2014.