

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan terhadap tiga variasi bahan bakar RON 92, yaitu Pertamina 92, Revvo 92, dan BP 92, pada mesin K15B-C (Suzuki Carry Pickup 1,5L MT Tahun 2024), kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

##### **1. Pengaruh Bahan Bakar Terhadap Torsi Mesin**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar RON 92 yang berbeda memberikan pengaruh terhadap karakteristik torsi mesin yang dihasilkan. Meskipun ketiga bahan bakar memiliki angka oktan yang sama yaitu RON 92, terdapat perbedaan nilai torsi pada setiap putaran mesin yang diuji. Pertamina 92 menghasilkan rata-rata torsi tertinggi sebesar 115,68 Nm dan juga menghasilkan torsi maksimum tertinggi sebesar 120,36 Nm pada putaran mesin 4.000 rpm. BP 92 menghasilkan rata-rata torsi sebesar 115,15 Nm dengan torsi maksimum sebesar 120,16 Nm pada putaran mesin 2.500 rpm, sedangkan Revvo 92 menghasilkan rata-rata torsi sebesar 114,42 Nm dengan torsi maksimum sebesar 119,17 Nm pada putaran mesin 2.500 rpm.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa Pertamina 92 mampu mempertahankan performa torsi yang lebih baik dan lebih stabil pada rentang putaran mesin yang diuji. BP 92 menunjukkan performa yang baik pada putaran rendah dan putaran tinggi, sedangkan Revvo 92 menghasilkan kurva torsi yang lebih linear dan stabil meskipun nilai torsiya sedikit lebih rendah dibandingkan dua bahan bakar lainnya.

Namun demikian, perbedaan nilai torsi tersebut tidak signifikan secara statistik. Berdasarkan pengolahan data pada BAB IV, uji One-Way ANOVA menghasilkan nilai F sebesar 1,133 dengan signifikansi

sebesar 0,341 ( $>0,05$ ), yang kemudian dikonfirmasi melalui uji non-parametrik Kruskal-Wallis dengan nilai signifikansi asimtotik sebesar 0,371 ( $>0,05$ ) karena data tidak berdistribusi normal. Dengan demikian, meskipun secara deskriptif terdapat kecenderungan perbedaan nilai rata-rata torsi, perbedaan merek bahan bakar RON 92 (Pertamax 92, BP 92, dan Revvo 92) tidak memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap torsi mesin K15B-C pada taraf kepercayaan 95%.

## 2. Pengaruh Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang

Hasil pengujian emisi gas buang menunjukkan bahwa seluruh bahan bakar yang digunakan menghasilkan emisi yang sangat rendah dan memenuhi baku mutu emisi kendaraan bermotor bensin berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023.

Pada parameter karbon monoksida (CO), BP 92 menghasilkan emisi terendah yaitu sebesar 0,050%, diikuti Revvo 92 sebesar 0,060%, dan Pertamax 92 sebesar 0,063%. Rendahnya nilai CO menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung dengan baik sehingga jumlah karbon yang tidak terbakar sempurna menjadi lebih sedikit. Pada parameter hidrokarbon (HC), Revvo 92 menghasilkan emisi terendah yaitu sebesar 8,66 ppm, diikuti Pertamax 92 sebesar 14,33 ppm, dan BP 92 sebesar 18,66 ppm. Nilai HC yang rendah menunjukkan bahwa jumlah bahan bakar yang tidak terbakar di dalam ruang bakar relatif sedikit sehingga proses pembakaran berlangsung lebih sempurna.

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa Revvo 92 menunjukkan performa emisi yang paling baik pada parameter HC, sedangkan BP 92 menunjukkan performa terbaik pada parameter CO.

## 3. Pengaruh Bahan Bakar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Ketiga bahan bakar RON 92 menghasilkan konsumsi bahan bakar yang sepenuhnya identik, yaitu sebesar 150 ml per sesi pengujian pada kecepatan 100 km/jam selama 60 detik, dengan nilai efisiensi yang ekuivalen sebesar 11,11 km/L. Kesamaan ini disebabkan oleh mekanisme sistem injeksi *closed-loop* yang dikendalikan oleh ECU mesin K15B-C, yang secara otomatis mempertahankan *Air-Fuel Ratio* mendekati nilai stoikiometri ( $\lambda \approx 1$ ) tanpa dipengaruhi perbedaan merek selama nilai oktan ketiga bahan bakar berada dalam rentang yang setara. Dengan demikian, pada mesin modern dengan system EFI, perbedaan merek bahan bakar RON 92 tidak menghasilkan perbedaan konsumsi volumetric yang terukur pada kondisi pengujian yang terkontrol.

Sebagai gambaran umum di luar ketiga poin kesimpulan di atas, apabila seluruh hasil penelitian (torsi, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang) ditinjau secara bersama-sama, maka urutan bahan bakar harus mempertimbangkan semua parameter secara deskriptif, bukan hanya satu variabel, dan perlu dibaca bersama hasil uji statistik pada BAB IV yang menunjukkan bahwa perbedaan torsi antar ketiga bahan bakar tidak signifikan secara statistik, sedangkan perbedaan emisi gas buang (CO dan HC) signifikan secara statistik.

## V.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyampaikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Penelitian ini dilaksanakan pada kondisi pengujian statis dengan kecepatan 100 km/jam selama 60 detik menggunakan *chassis dynamometer*, sehingga hasil yang diperoleh belum sepenuhnya mempresentasikan kondisi operasional nyata kendaraan niaga ringan. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian lanjutan mengadopsi prosedur dinamis berbasis *driving cycle* yang relevan dengan karakteristik lalu lintas Indonesia, seperti siklus *Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure* (WLTP) yang telah menggantikan NEDC

sejak tahun 2017 dan saat ini menjadi standar pengujian kendaraan ringan yang diakui secara internasional, atau siklus Indonesia Driving Cycle (IDC) yang dikembangkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) khusus untuk kondisi lalu lintas perkotaan Indonesia. Pendekatan ini memungkinkan pengukuran konsumsi bahan bakar aktual dan profil emisi gas buang pada rentang beban dan kecepatan yang lebih representatif, termasuk kondisi akselerasi, deselerasi, pembebanan tanjakan, serta kondisi *idling* berkepanjangan yang lazim dijumpai pada kendaraan angkutan barang di kawasan perkotaan.

2. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa sistem injeksi *closed-loop* pada mesin K15B-C mampu mengeliminasi perbedaan konsumsi volumetrik antar bahan bakar RON 92, namun penelitian ini belum mengkaji pengaruh karakteristik termokimia masing-masing bahan bakar terhadap efisiensi termal mesin secara menyeluruh. Untuk itu, disarankan agar penelitian lanjutan menyertakan pengukuran nilai kalor bawah (*Lower Heating Value/LHV*) dan densitas aktual setiap bahan bakar, sehingga konsumsi bahan bakar dapat dinyatakan dalam satuan energi (MJ/km) dan bukan sekedar volume (mL atau L/100 km). Konversi ke basis energi ini penting secara ilmiah karena perbedaan kandungan energi per satuan volume antar bahan bakar berpotensi menghasilkan perbedaan konsumsi energi yang terukur meskipun konsumsi volumetriknya tampak identik, dan hal ini merupakan celah ilmiah yang belum terjawab dalam penelitian ini.
3. Perbedaan karakteristik kurva torsi yang ditemukan pada penelitian ini, khususnya profil Pertamina 92 pada rentang 2.500-4.500 RPM dan keunggulan BP 92 pada putaran tinggi belum dapat dijelaskan secara mekanistik hanya dari data *dynotest*. Disarankan agar penelitian lanjutan melengkapi pengujian performa dengan analisis pembakaran berbasis data tekanan silinder menggunakan *in-cylinder pressure transducer*, sehingga parameter pembakaran seperti *peak pressure*, *heat release rate* (HRR), dan *combustion duration* dapat dianalisis secara langsung untuk mengungkap mekanisme penyebab perbedaan

karakteristik torsi antar bahan bakar yang ditemukan dalam penelitian ini.

4. Penelitian ini hanya mengukur emisi CO dan HC sebagai parameter emisi gas buang pada kondisi tunak. Disarankan agar penelitian lanjutan memperluas cakupan parameter emisi dengan menyertakan pengukuran nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) dan partikulat ( $\text{PM}_{2,5}$ ) yang merupakan polutan utama berdasarkan regulasi emisi Euro 4 yang telah diberlakukan di Indonesia melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 Tahun 2023. Pengukuran  $\text{NO}_x$  khususnya relevan mengingat perbedaan profil suhu pembakaran antar bahan bakar yang terindikasi dari perbedaan karakteristik torsi, karena pembentukan  $\text{NO}_x$  sangat dipengaruhi oleh suhu puncak pembakaran, sehingga data ini berpotensi memberikan diferensiasi yang lebih signifikan antar bahan bakar dibandingkan parameter CO dan HC yang telah diukur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A., Ady, A., Pahruzi, R., & Kamal, M. (2024). *Performance of the Turbocharged Engine Toyota Raize using Pertamina 92 and Pertamina Green 95*. 8(2), 120–126.
- Balubaid, M. A., & Ahmad, W. (2015). *Octane Rating of Gasoline and Octane Booster Additives*. June. <https://doi.org/10.1080/10916466.2015.1050506>
- Barlow, T. J., Latham, S., McCrae, I. S., & Boulter, P. G. (2009). *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*.
- Binjuwair, S. A., Alkhedhair, A. M., Alharbi, A. A., & Alshunifi, I. A. (2017). *Combustion and Emission Analysis of SI Engine Fuelled by Saudi Arabian Gasoline RON91 and RON95 with Variable Compression Ratios and Spark Timing*. 4, 1–21. <https://doi.org/10.4236/oalib.1104184>
- Burke, R. D., Brace, C. J., & Hawley, J. G. (2011). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers , Part D: Journal of Automobile Engineering*. <https://doi.org/10.1177/0954407010395685>
- Fang, Y., Ma, L., Yao, Z., Li, W., & You, S. (2022). *Process optimization of biomass gasification with a Monte Carlo approach and random forest algorithm*. 264(April). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115734>
- IMANISHI, K., TAKANO, T., & OKUYAMA, K. (2023). Removal of high heat flux from solid surface by contact with water-containing porous plate. *Elsevier*, 226, 1–29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120273>
- Ling, Z., Slaymaker, J., Zhou, Z., Yang, Y., Brear, M., Leone, G., Anderson, J. E., Shelby, M. H., & Mon, S. R. O. N. (2024). Impact of octane numbers on combustion performance and driving cycle fuel consumption of turbocharged direct-injection spark-ignition engine. *Fuel*, 374(April), 132287. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132287>
- Majerczyk, A. (2013). *SOME ASPECTS OF VALIDATION OF THE FUEL CONSUMPTION MEASUREMENT METHOD*. 20(4), 457–464.

- Martyr, A. J., & Plint, M. A. (2012). *Engine Testing: Theory and Practice*.
- Nyoman Ary Wahyudi. (2023). *Siap-Siap! BBM Pertalite Dihapus 2024, Diganti Pertamina Green 92*. Bisnis.Com.  
<https://doi.org/https://ekonomi.bisnis.com/read/20230830/44/1689820/siap-siap-bbm-pertalite-dihapus-2024-diganti-pertamax-green-92>
- Otriza, F., Sugiarto, T., Fernandez, D., & Putra, D. S. (2023). *Analisis Variasi Research Octane Number ( RON ) Bahan Bakar Terhadap Performa Mesin Daihatsu Xenia K3-VE Analysis of Variation Research Octane Number ( RON ) of Fuel on Performance Engine of Daihatsu Xenia K3-VE*. 411–422.
- Pallawagau La Puppung. (2005). *Analisis Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Bermotor Bensin Diatas Chasssis Dynamometer*.
- Permenhub, 2015. (2015). *Permenhub No. 111 Tahun 2015.pdf*.
- Prihatno Anton; Hendrawan Andi. (2022). Applied Research and Smart Technology. *Performance of Spark-Ignition Engine at Various Fuel Octane Numbers*. <https://doi.org/https://doi.org/10.23917/arstech.v2i1.149>
- Rahmat, B., Burhan, M., & Wijaya, R. (2023). *Performance of single cylinder combustion engine with variations in fuel octane number and compression pressure*. 8(1), 89–99. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v8i1.57443>
- Rahmat, B., Burhan, M., Wijaya, R., Engineering, F. P., & Industry, F. (2023). *PERFORMANCE COMPARISON OF ONE CYLINDER COMBUSTION ENGINE WITH VARIATIONS OF COMPRESSION PRESSURE & 17(1)*, 31–37. <https://doi.org/10.24853/sintek.17.1.31-37>
- Rodríguez-fernández, J., Ramos, Á., Barba, J., Cárdenas, D., & Delgado, J. (n.d.). *Improving Fuel Economy and Engine Performance through Gasoline Fuel Octane Rating*.
- Ron, B., & Ron, D. A. N. (2019). *PERBANDINGAN PRESTASI MESIN DAN EMISI GAS BUANG BAHAN*. 9–10.
- Sayin, C., Kilicaslan, I., Canakci, M., & Ozsezen, N. (2005). *An experimental study of the effect of octane number higher than engine requirement on the engine performance and emissions*. 25, 3313909.

<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.07.009>

- Sugiarto, B., Wibowo, C. S., Zikra, A., Budi, A., & Mulya, T. (2024). *Comparison of the Gasoline Fuels with Octane Number*. February.
- Suryati, I., Indrawan, I., Lubis, J. S., & Tanjung, M. (2023). *Jurnal Presipitasi Analysis of Exhaust Gas Emission of Motor Vehicles with Variations of Fuel Types*. 20(3), 755–764.
- Teodosio, L., Marchitto, L., Tornatore, C., Bozza, F., & Valentino, G. (n.d.). *Effect of Cylinder-by-Cylinder Variation on Performance and Gaseous Emissions of a PFI Spark Ignition Engine: Experimental and 1D Numerical Study Effect of Cylinder-by-Cylinder Variation on Performance and Experimental and 1D Numerical Study*.
- Teoh, Y. H., How, H. G., Yu, K. H., Chuah, H. G., & Yin, W. L. (2018). *Akademia Baru Influence of Octane Number Rating on Performance , Emission and Combustion Characteristics in Spark Ignition Engine Akademia Baru*. 1(1), 22–34.
- Winoko, Y. A., & Sudarmanto, J. H. (2024). *The Effect of Number of Spark Plug Ground Electrodes and Octane Rating on Single Cylinder Engine Performance*. 9(3), 512–519.
- Abbas, A., Ady, A., Pahruzi, R., & Kamal, M. (2024). *Performance of the Turbocharged Engine Toyota Raize using Pertamina 92 and Pertamina Green 95*. 8(2), 120–126.
- Balubaid, M. A., & Ahmad, W. (2015). *Octane Rating of Gasoline and Octane Booster Additives*. June. <https://doi.org/10.1080/10916466.2015.1050506>
- Barlow, T. J., Latham, S., McCrae, I. S., & Boulter, P. G. (2009). *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*.
- Binjuwair, S. A., Alkhedhair, A. M., Alharbi, A. A., & Alshunifi, I. A. (2017). *Combustion and Emission Analysis of SI Engine Fuelled by Saudi Arabian Gasoline RON91 and RON95 with Variable Compression Ratios and Spark Timing*. 4, 1–21. <https://doi.org/10.4236/oalib.1104184>
- Burke, R. D., Brace, C. J., & Hawley, J. G. (2011). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers , Part D: Journal of Automobile Engineering*. <https://doi.org/10.1177/0954407010395685>
- Fang, Y., Ma, L., Yao, Z., Li, W., & You, S. (2022). *Process optimization of biomass gasification with a Monte Carlo approach and random forest algorithm*.



- 264(April). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115734>
- IMANISHI, K., TAKANO, T., & OKUYAMA, K. (2023). Removal of high heat flux from solid surface by contact with water-containing porous plate. *Elsevier*, 226, 1–29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120273>
- Ling, Z., Slaymaker, J., Zhou, Z., Yang, Y., Brear, M., Leone, G., Anderson, J. E., Shelby, M. H., & Mon, S. R. O. N. (2024). Impact of octane numbers on combustion performance and driving cycle fuel consumption of turbocharged direct-injection spark-ignition engine. *Fuel*, 374(April), 132287. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132287>
- Majerczyk, A. (2013). *SOME ASPECTS OF VALIDATION OF THE FUEL CONSUMPTION MEASUREMENT METHOD*. 20(4), 457–464.
- Martyr, A. J., & Plint, M. A. (2012). *Engine Testing: Theory and Practice*.
- Nyoman Ary Wahyudi. (2023). *Siap-Siap! BBM Pertalite Dihapus 2024, Diganti Pertamina Green*. 92. *Bisnis.Com*. <https://doi.org/https://ekonomi.bisnis.com/read/20230830/44/1689820/siap-siap-bbm-pertalite-dihapus-2024-diganti-pertamax-green-92>
- Otriza, F., Sugiarto, T., Fernandez, D., & Putra, D. S. (2023). *Analisis Variasi Research Octane Number ( RON ) Bahan Bakar Terhadap Performa Mesin Daihatsu Xenia K3-VE Analysis of Variation Research Octane Number ( RON ) of Fuel on Performance Engine of Daihatsu Xenia K3-VE*. 411–422.
- Pallawagau La Puppung. (2005). *Analisis Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Bermotor Bensin Diatas Chasssis Dynamometer*.
- Permenhub, 2015. (2015). *Permenhub No. 111 Tahun 2015.pdf*.
- Prihatno Anton; Hendrawan Andi. (2022). Applied Research and Smart Technology. *Performance of Spark-Ignition Engine at Various Fuel Octane Numbers*. <https://doi.org/https://doi.org/10.23917/arstech.v2i1.149>
- Rahmat, B., Burhan, M., & Wijaya, R. (2023). *Performance of single cylinder combustion engine with variations in fuel octane number and compression pressure*. 8(1), 89–99. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v8i1.57443>
- Rahmat, B., Burhan, M., Wijaya, R., Engineering, F. P., & Industry, F. (2023). *PERFORMANCE COMPARISON OF ONE CYLINDER COMBUSTION ENGINE WITH VARIATIONS OF COMPRESSION PRESSURE &*. 17(1), 31–37. <https://doi.org/10.24853/sintek.17.1.31-37>
- Rodríguez-fernández, J., Ramos, Á., Barba, J., Cárdenas, D., & Delgado, J. (n.d.). *Improving Fuel Economy and Engine Performance through Gasoline Fuel Octane Rating*.
- Ron, B., & Ron, D. A. N. (2019). *PERBANDINGAN PRESTASI MESIN DAN EMISI GAS BUANG BAHAN*. 9–10.
- Sayin, C., Kilicaslan, I., Canakci, M., & Ozsezen, N. (2005). *An experimental study of the effect of octane number higher than engine requirement on the engine performance and emissions*. 25, 3313909.

<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.07.009>

- Sugiarto, B., Wibowo, C. S., Zikra, A., Budi, A., & Mulya, T. (2024). *Comparison of the Gasoline Fuels with Octane Number*. February.
- Suryati, I., Indrawan, I., Lubis, J. S., & Tanjung, M. (2023). *Jurnal Presipitasi Analysis of Exhaust Gas Emission of Motor Vehicles with Variations of Fuel Types*. 20(3), 755–764.
- Teodosio, L., Marchitto, L., Tornatore, C., Bozza, F., & Valentino, G. (n.d.). *Effect of Cylinder-by-Cylinder Variation on Performance and Gaseous Emissions of a PFI Spark Ignition Engine: Experimental and 1D Numerical Study Effect of Cylinder-by-Cylinder Variation on Performance and Experimental and 1D Numerical Study*.
- Teoh, Y. H., How, H. G., Yu, K. H., Chuah, H. G., & Yin, W. L. (2018). *Akademia Baru Influence of Octane Number Rating on Performance , Emission and Combustion Characteristics in Spark Ignition Engine Akademia Baru*. 1(1), 22–34.
- Winoko, Y. A., & Sudarmanto, J. H. (2024). *The Effect of Number of Spark Plug Ground Electrodes and Octane Rating on Single Cylinder Engine Performance*. 9(3), 512–519.