Kinerja Mesin Motor 4 Langkah dengan Bahan Bakar Campuran Bioetanol dan Pertamina

Performance of a 4-stroke Motor Engine with a Mixed Fuel of Bioethanol and Pertamina

Indra Hermawan^{1)*}, Muhammad Idris²⁾, Darianto³⁾, M. Yusuf R. Siahaan⁴⁾

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Indonesia

Diterima: 04-09-2021 ; Disetujui: 17-12-2021 ; Diterbitkan: 30-12-2021

*Corresponding author: E-mail: indrahermawan@staff.uma.ac.id

Abstrak

Ketersediaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi semakin terbatas sehingga perlu adanya sumber energi baru sebagai alternatif yang ramah lingkungan, salah satunya adalah bioetanol. Bioetanol adalah salah satu jenis dari biofuel yang bersumber dari materi hidup, biasanya tanaman dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_5O dengan angka oktan 108. Salah satu manfaat dari bioetanol untuk campuran bahan bakar dikarenakan nilai oktan yang lebih tinggi, mudah terbakar, panas penguapan dan kandungan oksigen lebih tinggi yang dapat menurunkan suhu silinder sehingga mengurangi emisi NO_x dan menghasilkan lebih sedikit CO_2 . Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja mesin motor 4 tak dengan membandingkan penggunaan bahan bakar campuran pertamax dengan bioetanol dengan komposisi 25%, 20%, dan 0% bioetanol. Penelitian menggunakan metode eksperimental dimana dilakukan pengumpulan data dan selanjutnya dilakukan pengolahan data dan analisis data. Hasil penelitian diperoleh daya tertinggi sebesar 8,70 kW pada 25% bioetanol putaran 6000 rpm, diikuti 20% bioetanol dan 100% pertamax sebesar 8,60 rpm dengan putaran masing-masing 6500 rpm dan 7000 rpm. Torsi tertinggi 25% bioetanol sebesar 13,80 Nm pada putaran 5500 rpm, diikuti 3,10 Nm putaran 5000 rpm 100% pertamax dan 12,80 Nm pada putaran 5500 rpm bahan bakar 20% bioetanol. Konsumsi bahan bakar terendah sebesar 0,57 kg/kWh pada putaran 7000 rpm bahan bakar 100% pertamax, kemudian 0,60 kg/kWh bahan bakar 20% bioetanol pada putaran 6500 rpm dan 0,6 kg/kWh bahan bakar 15% bioetanol pada putaran 6000 rpm.

Kata Kunci: Bioetanol; Daya; Konsumsi bahan bakar; Pertamina; Torsi

Abstract

The availability of fossil fuels as an energy source is increasingly limited, so there is a need for new energy sources as environmentally friendly alternatives, one of which is bioethanol. Bioethanol is a type of biofuel sourced from living matter, usually plants with the chemical formula C_2H_5OH and the empirical formula C_2H_5O with an octane number of 108. One of the benefits of bioethanol for fuel mixtures is due to the higher octane value, flammability, heat of vaporization and higher oxygen content lowers cylinder temperature thereby reducing NO_x emissions and producing less CO_2 . This study aims to evaluate the performance of a 4 stroke engine by comparing the use of Pertamina and bioethanol mixtures of fuel with a composition of 25%, 20%, and 0% bioethanol. The study used an experimental method where data was collected and then data processing and data analysis were carried out. The results obtained the highest power of 8.70 kW at 25% bioethanol at 6000 rpm, followed by 20% bioethanol and 100% Pertamina at 8.60 rpm with rotations of 6500 rpm and 7000 rpm respectively. The highest torque of 25% bioethanol is 13.80 Nm at 5500 rpm, followed by 3.10 Nm at 5000 rpm at 100% pertamax and 12.80 Nm at 5500 rpm with 20% bioethanol fuel. The lowest fuel consumption is 0.57 kg/kWh at 7000 rpm with 100% pertamax fuel, then 0.60 kg/kWh with 20% bioethanol fuel at 6500 rpm and 0.6 kg/kWh with 15% bioethanol fuel at 6000 rpm.

Keywords: Bioethanol; Pertamina; Power; Specific fuel consumption; Torque

How to Cite: Hermawan, I.. 2021, Kinerja Mesin Motor 4 Langkah dengan Bahan Bakar Campuran Bioetanol dan Pertamina, JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy), 5 (02): 202-210.

PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi semakin terbatas sehingga perlu adanya sumber energi baru sebagai alternatif pengganti yang lebih ramah terhadap lingkungan (energi terbarukan). Salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan adalah bioetanol. Bioetanol adalah salah satu jenis dari biofuel yang merupakan energi yang terbuat dari materi hidup, biasanya tanaman dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_5O dengan angka oktan 108. Bioetanol dibuat dengan teknik fermentasi biomassa seperti umbi-umbian, jagung atau tebu, dan dilanjutkan dengan proses destilasi. Bioetanol dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar motor.

Pertamax merupakan salah satu dari jenis bahan bakar yang diproduksi oleh Pertamina. Pertamax memiliki angka oktan riset atau *Research Octane Number* (RON) minimal 92 berstandar internasional. Bahan bakar pertamax disarankan untuk kendaraan yang mempunyai nilai kompresi 9:1 sampai dengan 10:1.

Bahan-bahan alami adalah bahan yang dihasilkan langsung oleh tanaman tanpa melalui proses kimia sebelumnya [1]. Beberapa penelitian telah dikerjakan dalam pemanfaatan bahan-bahan alami sebagai bahan alternatif. Berikut ini adalah usaha pemanfaatan bahan-bahan alami tersebut, antara lain: limbah buah salak dengan limbah air kelapa untuk bahan baku bioethanol [2], tandan kosong kelapa sawit [3], batang pisang [4, 5], bonggol jagung [6], dan kulit kentang [7].

Manfaat dari bioetanol untuk campuran bahan bakar dikarenakan nilai oktan yang lebih tinggi, mudah terbakar, panas penguapan dan kandungan oksigen yang lebih tinggi yang dapat menurunkan suhu silinder sehingga mengurangi emisi NO_x dan menghasilkan lebih sedikit CO_2 [8]. Bioetanol banyak digunakan sebagai bahan campuran pada pelarut kimia selain bisa juga digunakan sebagai bahan bakar. Sebagai bahan bakar pada motor, bioetanol mempunyai sifat-sifat yang dibutuhkan, seperti nilai oktan yang tinggi, mampu diperbaharui, menghasilkan emisi polutan yang lebih rendah. Sedangkan sifat-sifat yang kurang mendukung sebagai bahan bakar motor Otto adalah nilai kalor yang hanya sekitar 2/3 dibandingkan gasoline, higroskopis dan dapat bercampur air dengan segala perbandingan, sehingga dapat menyebabkan korosi maupun pemisahan [9]. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dari mesin motor 4 tak dengan membandingkan penggunaan bahan bakar campuran pertamax dengan bioetanol dengan komposisi 25%, 20%, dan 0% bioetanol.

Dalam menganalisis suatu kinerja dalam mesin ada beberapa parameter yang dapat diketahui diantaranya torsi (torque), daya (power), konsumsi bahan spesifik (t). Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja sedangkan daya adalah tingkat di mana pekerjaan dilakukan [10].

Torsi mesin adalah ukuran kerja yang dilakukan per satuan putaran (radian) poros engkol [11]. Torsi yang diberikan mesin melalui poros penggerak biasanya diukur dengan dinamometer. Mesin dipasang pada test bed dan porosnya. Torsi yang diberikan mesin melalui poros penggerak biasanya diukur dengan dinamometer. Mesin dipasang pada test bed dan poros tersebut. Rotor digabungkan secara elektromagnetik,

hidrolik, atau dengan gesekan mekanis ke stator, yang didukung dalam bantalan gesekan rendah. Dudukan bantalan gesek umumnya terbuat dari bahan grafit yang cukup tahan terhadap gesekan [12, 13]. Stator seimbang dengan stasioner rotor. Torsi yang diberikan pada stator dengan putaran rotor diukur dengan menyeimbangkan stator dengan beban, pegas, atau alat pneumatik. Dinamometer biasanya memiliki inersia yang cukup sehingga prosedur ini dengan mesin multisilinder menjumlahkan kontribusi torsi dari setiap silinder, dan mengukur torsi rata-rata waktu. Gambar 1 menggambarkan prinsip pengoperasian dinamometer [14, 15].

Gambar 1. prinsip pengoperasian dinamometer

Dari gambar 1, persamaan dari torsi dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$T = Fb \quad (1)$$

Dimana T adalah Torsi (Nm); F , Gaya penyeimbang (N), dan b adalah jarak lengan (m).

Daya rem adalah laju kerja yang dilakukan. Daya rem adalah keluaran daya mesin, dan diukur dengan dinamometer [16]. Daya yang diberikan oleh mesin dan diserap oleh dinamometer adalah produk dari torsi dan kecepatan sudut. Persamaan dari daya, P (kW) dihitung dengan menggunakan persamaan (2) [17, 18, 19].

$$P = 2\pi NT \quad (2)$$

Dengan N adalah kecepatan putaran poros engkol (rpm).

Dalam pengujian mesin, konsumsi bahan bakar diukur sebagai laju aliran yaitu aliran massa per satuan waktu. Parameter yang lain adalah konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (sfc), yaitu laju aliran bahan bakar per unit keluaran daya. Ini adalah parameter yang dinormalisasi (yaitu, terlepas dari ukuran mesin), dan mengukur seberapa efisien mesin menggunakan bahan bakar yang dipasok untuk menghasilkan kerja pada kondisi operasi tertentu [20, 21, 22]. Nilai sfc dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (3)$$

$\dot{m}_f$ adalah laju aliran bahan bakar yang dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

$$\dot{m}_f = \frac{V\rho}{t} \quad (4)$$

Dimana V adalah volume bahan bakar (m^3), ρ adalah massa jenis bahan bakar (kg/m^3) dan t adalah waktu (s)

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimental dimana dilakukan pengumpulan data dan selanjutnya dari data yang ada dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang diperoleh dari literatur, selanjutnya dilakukan pengolahan data dan analisis data. Pengujian dilakukan dengan menggunakan bahan bakar pertamax murni, pencampuran bahan bakar pertamax dengan bioetanol dengan komposisi bioetanol 25% dan 20%.

Adapun data-data alat dan bahan yang digunakan selama melakukan pengujian dan pengumpulan data adalah sebagai berikut: Mesin yang digunakan untuk penelitian ini adalah sepeda motor bensin 4 langkah dengan spesifikasi seperti pada tabel 1, Sedangkan spesifikasi dari bahan bakar yang digunakan seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin

Jenis Mesin	: 4 langkah, OHC, pendingin udara
Volume langkah	: 149,2 cc
Daya maksimum	: 10,1 kW/8500 rpm
Torsi maksimum	: 12,8 Nm/6500 rpm
Kapasitas tangki	: 12,0 liter
Diameter $\times$ langkah	: 57,3 $\times$ 57,8 mm
Gigi transmisi	: 5 kecepatan

Tabel 2. Spesifikasi Bahan bakar [23]

Sifat	Satuan	Pertamax	Bioetanol
Formula (liquid)	-	C_8H_{18}	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
Molecular weight	kg/kmol	114,15	46,07
Density	kg/m^3	765	785
Heat of vaporization	kJ/kg	305	840
Specific heat (liquid)	$\text{kJ}/\text{kg.K}$	2.4	1.7
Specific heat (vapour)	$\text{kJ}/\text{kg.K}$	2.5	1.93
Lower heating value	kJ/kg	44.000	26.900
Stoichiometric air-fuel ratio by mass		14.6	9.00
Research octane number		92	108.6

Pengumpulan data berupa daya dan torsi yang dihasilkan diukur dengan menggunakan alat dynamometer atau dynotest.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter penelitian ini adalah daya dan torsi. Pengujian dilakukan dalam waktu 24 detik dengan jumlah bahan bakar yang terpakai adalah 45 ml (25% dan 20% bioetanol)

dan 43 ml (100% pertamax). Pengumpulan data dilakukan dalam variasi putaran mesin 1000 rpm sampai dengan 7000 rpm, akan diperoleh perbedaan daya dan torsi yang dihasilkan dari masing-masing bahan bakar yang digunakan. Data hasil pengujian terlihat seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian

Putaran (rpm)	25% Bioetanol		20% Bioetanol		100% Pertamax	
	Daya (kW)	Torsi (Nm)	Daya (kW)	Torsi (Nm)	Daya (kW)	Torsi (Nm)
1.000	1,20	2,60	0,8	7,50	0,80	6,30
1.500	1,90	3,90	1,3	7,80	1,00	6,40
2.000	2,50	5,20	1,3	5,90	1,20	5,50
2.500	3,10	6,50	1,9	7,00	1,40	5,10
3.000	3,70	7,70	3,5	10,70	3,70	11,50
3.500	4,30	9,00	3,8	10,10	4,70	12,60
4.000	4,90	10,30	5,2	12,20	5,50	12,80
4.500	5,50	11,40	5,9	12,40	6,20	13,00
5.000	6,90	12,90	6,2	11,60	7,00	13,10
5.500	8,10	13,80	6,8	12,80	7,70	13,00
6.000	8,70	13,70	8,2	12,40	8,20	12,80
6.500	4,30	6,30	8,6	7,80	8,40	12,20
7.000	6,20	8,30	5,8	5,50	8,60	11,50

Berdasarkan tabel 3 dapat dibuatkan grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya untuk masing-masing bahan bakar seperti terlihat pada gambar 2.

Gambar 2. Hubungan Putaran mesin terhadap Daya

Pada gambar 2 diperlihatkan bahwa hampir pada semua campuran bioetanol terjadi kenaikan daya seiring dengan terjadinya kenaikan putaran mesin, hanya pada campuran 25% bioetanol dan 20% bioetanol terjadi penurunan pada putaran 6500 rpm dan 7000 rpm. Penurunan terjadi disebabkan pada campuran bioetanol terjadi pembakaran kurang sempurna. Daya tertinggi pada campuran bioetanol 25% berada pada putaran 6000 rpm dengan besar daya 8,70 kW, pada bioetanol 20% berada pada putaran 6500 rpm dengan besar daya 8,6 kW, dan pada bahan bakar 100% pertamax daya tertinggi pada putaran 7000 rpm dengan besar daya 8,6 kW. Dari ketika jenis bahan bakar diperlihatkan daya tertinggi adalah pada campuran 25% bioetanol dengan putaran yang lebih rendah dari yang lain.

Berdasarkan tabel 3 juga dapat dibuatkan grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi untuk masing-masing bahan bakar seperti terlihat pada gambar 3.

Gambar 3. Hubungan Putaran mesin terhadap Torsi

Pada gambar 3 diperlihatkan bahwa pada campuran bioetanol 25%, torsi tertinggi sebesar 13,80 Nm berada pada putaran 5500 rpm. Campuran bioetanol 20% torsi tertinggi sebesar 12,80 Nm berada pada putaran 5500 rpm dan bahan bakar 100% pertamax, torsi tertinggi sebesar 13,10 Nm berada pada putaran 5000 rpm.

Data hasil perhitungan konsumsi bahan bakar atau *specific fuel consumption* (sfc) diperlihatkan pada tabel 4. Berdasarkan tabel 4 dapat dibuatkan grafik hubungan antara putaran mesin dengan nilai sfc untuk masing-masing bahan bakar seperti terlihat pada gambar 4. Pada gambar 4 diperlihatkan bahwa nilai konsumsi bahan bakar terjadi penurunan seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Hal ini terjadi disebabkan bahwa pada awal proses pembakaran, pada putaran awal dibutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk menggerakkan mesin. Pada bahan bakar campuran 25% bioetanol, konsumsi bahan bakar terendah pada putaran mesin 6000 rpm dengan nilai sfc sebesar 0,60 kg/kWh.

Pada bahan bakar campuran 20% bioetanol, konsumsi bahan bakar terendah pada putaran mesin 6500 rpm dengan nilai sfc sebesar 0,60 kg/kWh. Sedangkan pada bahan bakar 100% pertamax, konsumsi bahan bakar terendah pada putaran 7000 rpm dengan nilai sfc sebesar 0,57 kg/kWh.

Tabel 4. Data Nilai Konsumsi Bahan Bakar

Putaran Mesin (rpm)	25% Bioetanol			20% Bioetanol			100% Pertamax		
	Daya (kW)	Torsi (Nm)	SFC (kg/kWh)	Daya (kW)	Torsi (Nm)	SFC (kg/kWh)	Daya (kW)	Torsi (Nm)	SFC kg/kWh
1.000	1,20	2,60	4,33	0,8	7,50	6,49	0,80	6,30	6,17
1.500	1,90	3,90	2,74	1,3	7,80	3,99	1,00	6,40	4,93
2.000	2,50	5,20	2,08	1,3	5,90	3,99	1,20	5,50	4,11
2.500	3,10	6,50	1,68	1,9	7,00	2,73	1,40	5,10	3,52
3.000	3,70	7,70	1,40	3,5	10,70	1,48	3,70	11,50	1,33
3.500	4,30	9,00	1,21	3,8	10,10	1,37	4,70	12,60	1,05
4.000	4,90	10,30	1,06	5,2	12,20	1,00	5,50	12,80	0,90
4.500	5,50	11,40	0,95	5,9	12,40	0,88	6,20	13,00	0,80
5.000	6,90	12,90	0,75	6,2	11,60	0,84	7,00	13,10	0,70
5.500	8,10	13,80	0,64	6,8	12,80	0,76	7,70	13,00	0,64
6.000	8,70	13,70	0,60	8,2	12,40	0,63	8,20	12,80	0,60
6.500	4,30	6,30	1,21	8,6	7,80	0,60	8,40	12,20	0,59
7.000	6,20	8,30	0,84	5,8	5,50	0,89	8,60	11,50	0,57

Gambar 4. Hubungan putaran mesin terhadap konsumsi bahan bakar

KESIMPULAN

Daya tertinggi diperoleh sebesar 8,70 kW pada campuran 25% bioetanol pada putaran 6000 rpm, diikuti oleh campuran 20% bioetanol dan 100% pertamax yaitu sama sebesar 8,60 rpm dengan putaran masing-masing 6500 rpm dan 7000 rpm. Torsi tertinggi adalah sebesar campuran 25% bioetanol sebesar 13,80 Nm pada putaran 5500 rpm,

diikuti oleh 13,10 Nm pada putaran 5000 rpm oleh bahan bakar 100% pertamax dan 12,80 Nm pada putaran 5500 rpm untuk campuran bahan bakar 20% bioetanol. Konsumsi bahan bakar terendah adalah sebesar 0,57 kg/kWh pada putaran 7000 rpm dengan bahan bakar 100% pertamax, kemudian 0,60 kg/kWh untuk bahan bakar campuran 20% bioetanol pada putaran 6500 rpm dan 0,6 kg/kWh untuk bahan bakar campuran 15% bioetanol pada putaran 6000 rpm

REFERENSI

- [1] A. Siregar, A. Nasution and M., "Rancangan Media Adsorpsi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Emisi Gas Mesin Otomotif," *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy)*, vol. 3, no. 01, pp. 64-75, 2019.
- [2] M. Idris, "Bioetanol Sebagai Biofuel dari Campuran Limbah Buah Salak dengan Limbah Air Kelapa," *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, vol. 2, no. 2, pp. 43-50, 2018.
- [3] A. J. Zulfikar, B. Umroh and M. Y. R. Siahaan, "Penyelidikan Perilaku Mekanik Material Polymeric Foam di Perkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Akibat Beban Statik dan Impak," *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, vol. 3, no. 01, pp. 10-19, 2019.
- [4] A. J. Zulfikar, "The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards made from Banana Stems," *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 334-340, 2020.
- [5] A. J. Zulfikar and M. Y. R. Siahaan, "Analisis Signifikansi Roda Skateboard Berbahan Komposit Serbuk Batang Pisang Terhadap Performa Kecepatan Dengan Metode Anova," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 4, no. 2, pp. 83-90, 2021.
- [6] R. Anjani, N. Eurika and A. N. Akhmadi, "PENGARUH PENGGUNAAN BATANG DAN BONGGOL JAGUNG TERHADAP KADAR BIOETANOL," *Jurnal Unmuh Jember*, vol. 3, no. 1, pp. 33-41, 2018.
- [7] D. E. PURBA, "PEMBUATAN BIOETANOL DARI KUPASAN KENTANG (*Solanum tuberosum* L.) DENGAN PROSES FERMENTASI," UNIVERSITAS UDAYANA PRESS, Bukit Jimbaran, 2015.
- [8] S.-R. Jhang, Y.-C. Lin, K.-S. Chen and S.-L. Lin, "Evaluation of Fuel Consumption, Pollutant Emissions and Well-to-wheel GHGs Assessment from a Vehicle Operation Fueled with Bioethanol, Gasoline and Hydrogen," *Energy* 209, p. 118436, 2020.
- [9] S. H. Susilo and A. M. Sabudin, "Pengaruh Campuran Bioetanol-Pertamax 92 terhadap Kinerja Motor Otto," *JURNAL ENERGI DAN TEKNOLOGI MANUFAKTUR (JETM)*, vol. 01, no. 02, pp. 21-26, 2018.
- [10] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- [11] C. R. Ferguson and A. T. Kirkpatrick, *Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences*, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2016.
- [12] I. Iswandi, J. Sahari and A. Sulong, "Effects of Different Particles Sizes of Graphite on the Engineering Properties of Graphites/Polypropylene Composites on Injection Molding Application," *Key Engineering Materials*, vol. 471, no. 1, pp. 109-114, 2011.
- [13] I. Iswandi, J. Sahari, A. B. Sulong and T. Husaini, "Critical powder loading and rheological properties of polypropylene/graphite composite feedstock for bipolar plate application," *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, vol. 20, no. 3, pp. 687-696, 2016.
- [14] W. p. Aditya and T. Ivan, "Analisa campuran bahan bakar bioetanol dari nira tebu dengan bahan bakar premium terhadap nilai kalor dan unjuk kerja mesin empat langkah," *Politeknik Negeri Jember*, pp. 30-37, 2017.

- [15] Ramelan, Teori motor bensin dan diesel, Semarang: Jurusan Mesin Universitas Negeri Semarang, 2011.
- [16] S. Binjuwair, T. . I. Mohamad, A. Almaleki, A. Alkudsi and I. Alshunaifi, "The Effects of Research Octane Number and Fuel Systems on The Performance and Emissions of a Spark Ignition Engine: A study on Saudi Arabian RON₉₁ and RON₉₅ with Port Injection and Direct Injection Systems," *Fuel* 158, p. 351–360, 2015.
- [17] Cengel A, Yunus and B. Michael A, Thermodynamics and Engineering, Singapore: SI Mc Graw Hiil Book Company, 2006.
- [18] Winamo and Joko, "Studi eksperimental pengaruh penambahan bioetanol pada bahan bakar pertamax terhadap unjuk kerja motor bensin," pp. vol.1 hal 33-39, 2011.
- [19] S. A. Yudistirani, K. H. Mahmud, F. A. Ummamy and A. I. Ramadhan, "Analisa Perfoma Mesin Motor 4 langkah 110CC dengan Menggunakan Campuran Bioetanol-Pertamax," *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, vol. 11, no. 1, pp. 85-90, 2019.
- [20] Jeuland N.M, Montage and X Gautrut, "Pontetiality of ethanol as a fuel for dedicated oil and gas science and technology," *IFP*, pp. vol,59 no.6:559-570, 2004.
- [21] Pratama and M.hafiz, "Uji eksperimental pengaruh penambahan bioetanol pada bahan bakar pertalite terhadap unjuk kerja motor bakar mesin," *skripsi*, p. Universitas Sumatra Utara, 2015.
- [22] C. Wang, S. Zeraati-Rezaei, L. Xiang and H. Xu, "Ethanol Blends in Spark Ignition Engines: RON, Octane-added Value, Cooling Effect, Compression Ratio, and Potential Engine Efficiency Gain," *Applied Energy*, p. 603–619, 2017.
- [23] A. Karthikeyan, D. Venkatesh and T. Ramkumar, "Experimental Investigation on Spark Ignition Engine Using Blends of Bio-ethanol Produced from Citrus Peel Wastes," *International Journal of Ambient Energy*, 2015.