

# Efek Flame Temperature dan Magnetisasi Bahan Bakar Campuran Bensin - Bioetanol Terhadap Emisi Gas Buang pada *Engine* Satu Silinder 4 Langkah 125 cc

Tatun H Nufus<sup>1,a)</sup>, Dianta M. Kamal<sup>2,b)</sup>, Emir Ridwan<sup>1,c)</sup>, Asep Apriana<sup>3,d)</sup>, M Todaro<sup>2,e)</sup>, Haidir Juna<sup>3,f)</sup>, Bayu Prasetyo<sup>1,g)</sup>, Rifki N Ilham<sup>1,h)</sup>, Agus Sapriyanto<sup>3,i)</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Konversi Energi PNJ,  
Jl. Prof. GA Siwabessy, Kampus Baru UI Depok, Indonesia, 16425

<sup>2</sup>Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur PNJ,  
Jl. Prof. GA Siwabessy, Kampus Baru UI Depok, Indonesia, 16425

<sup>3</sup>Program Studi Alat Berat PNJ,  
Jl. Prof. GA Siwabessy, Kampus Baru UI Depok, Indonesia, 16425

<sup>a)</sup> tatun.hayatun@mesin.pnj.ac.id, <sup>b)</sup> emir.ridwan@mesin.pnj.ac.id, <sup>c)</sup>dianta@pnj.ac.id (corresponding author),  
<sup>d)</sup>asep.apriana@mesin.pnj.ac.id, <sup>e)</sup>m.todro@gmail.com, <sup>f)</sup>haidir@gmail.com, <sup>g)</sup>bayup@gmail.com, <sup>h)</sup>rifkin@gmail.com,  
<sup>i)</sup>aguss@gmail.com

## Abstrak

Telah dilakukan perhitungan *flame temperature* pada bahan bakar campuran bensin dan bioethanol. Flame temperature diperlukan untuk mengetahui berapa besar panas yang terjadi ketika bahan bakar tersebut dibakar. Secara tidak langsung flame temperature ini akan mempengaruhi emisi gas buang. Hal lain yang dapat mempengaruhi emisi gas buang adalah magnetisasi bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar efek flame temperature dan magnetisasi bahan bakar terhadap emisi gas buang. Penelitian dilakukan secara eksperimen dimana sampel yang digunakan merupakan campuran antara bensin dengan bioetanol, komposisinya adalah E10 (10% bioetanol + 90% bensin), E20 (20% bioetanol+80% bensin), E30(30% bioetanol+70% bensin). Dan sebagai pegontrolnya digunakan bahan bakar bensin murni. Mesin bensin yang digunakan adalah sepeda motor 4 langkah kapasitas 125cc. Kekuatan magnet sebesar 1416 Gauss dipasang diantara tangki bahan bakar dan injector. Hasilnya magnetisasi bahan bakar menyebabkan terjadinya peningkatan *flame temperature* sebesar 7-15%. Dan penurunan emisi gas buang CO sebesar 49%.

**Kata kunci:** *bioethanol, flame temperature, emisi gas buang*

## Abstract

*Calculation of flame temperature has been carried out on a mixture of gasoline and bioethanol fuel. Flame temperature is needed to find out how much heat occurs when the fuel is burned. Indirectly this flame temperature will affect exhaust emissions. Another thing that can affect exhaust emissions is the magnetization of the fuel. This study aims to analyze the effect of flame temperature and fuel magnetization on exhaust gas emissions. The research was conducted experimentally. The sample used is a mixture of gasoline and bioethanol, the composition is E10 (10% bioethanol + 90% gasoline), E20 (20% bioethanol + 80% gasoline), E30 (30% bioethanol + 70% gasoline). And as a controller, pure gasoline is used. The gasoline engine used is a 4-stroke, 125cc motorcycle. A magnetic force of 1416 Gauss is installed between the fuel tank and the injector. The result is that the magnetization of the fuel causes an increase in the flame temperature of 7-15%. And a 50% reduction in exhaust emissions.*

**Keywords:** *bioethanol, flame temperature, exhaust emissions*

## I. PENDAHULUAN

Proses pembakaran yang tidak sempurna merupakan permasalahan yang ditemukan dalam upaya peningkatan performa mesin bensin. Kualitas bahan bakar yang buruk merupakan salah satu faktor penyebab turunnya efisiensi pembakaran. Berbagai pendekatan telah dilakukan untuk

mengatasi permasalahan di atas, termasuk penggunaan bahan bakar nabati yang ramah lingkungan seperti bioetanol. Pencampuran bahan bakar premium dan bioetanol dengan komposisi tertentu dapat menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna karena bioetanol merupakan bahan bakar yang kaya oksigen. Kekurangan

bioetanol memiliki temperatur pembakaran/flash point yang tinggi, sehingga sulit untuk mencapai pembakaran yang homogen pada tekanan kompresi di ruang bakar [1]. Untuk mengatasi kerugian penggunaan bioetanol, yaitu dengan cara mengalirkan bahan bakar tersebut pada medan elektromagnetik. Magnet ini diciptakan oleh arus listrik yang mengalir pada kumparan di sekitar inti kumparan, sistem magnetik ini dapat dipertahankan selama arus listrik mengalir, sehingga disebut dengan elektromagnet.

Penelitian terkait dengan magnetisasi bahan bakar telah banyak dilakukan oleh para peneliti, hasilnya bahwa medan elektromagnetik yang dipasang pada saluran bahan bakar di bagian hulu injektor dapat meningkatkan kualitas pembakaran, yang ditunjukkan dengan penurunan kadar emisi CO, NO dan HC pada knalpot [2,3]. Medan elektromagnetik ini tidak mengandung unsur berbahaya dan aman untuk digunakan pada mesin bensin [4,5]. Bahan bakar yang mengalir melalui medan elektromagnetik akan menyebabkan perubahan orientasi kutub magnet dan konfigurasi molekul bahan bakar. Medan elektromagnetik digunakan untuk menggetarkan (bergema) ion hidrokarbon dalam bahan bakar. Ionisasi diperlukan agar bahan bakar dapat dengan mudah mengikat oksigen selama proses pembakaran, sehingga campuran bahan bakar-oksigen dapat terbakar sempurna. Hal ini mengakibatkan peningkatan kualitas pembakaran [6].

Berdasarkan uraian di atas, penggunaan medan elektromagnetik telah terbukti dapat mengurangi emisi dan aman digunakan. Pembahasan tentang temperatur pembakaran (*flame temperature*) yang dihasilkan dari penggunaan medan elektromagnetik pada mesin bensin dengan campuran bensin dan bioetanol, tidak dijelaskan. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menunjukkan bahwa penggunaan medan elektromagnetik dapat mempengaruhi *flame temperature* dan emisi gas buang.

**II. LANDASAN TEORI**

*Flame temperature* atau temperatur nyala api adalah temperatur nyala maksimum suatu bahan bakar yang terjadi ketika tidak ada panas yang dilepaskan ke lingkungan. Temperatur nyala adiabatik diperlukan untuk mengetahui seberapa besar panas yang dihasilkan ketika bahan bakar dibakar. Ini adalah salah satu parameter sifat termal bahan bakar, misalnya bahan bakar bensin yang digunakan sebagai bahan bakar. Perhitungan suhu adiabatik nyala api didasarkan pada fraksi massa karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen dalam bahan bakar. Selama pembakaran, semua panas yang terkandung dalam bahan bakar diubah menjadi panas sensibel dari produk termal. Suhu nyala api adalah suhu di mana suatu zat atau bahan melepaskan uap yang cukup untuk membentuk campuran dengan udara yang ada, yang terbakar [7].

Meskipun banyak orang mengatakan bahwa suhu nyala api tidak dapat ditentukan secara nyata. Untuk alasan inilah para ahli mencari cara untuk menentukan nilainya secara teori. Temperatur nyala api ditentukan

oleh beberapa faktor, yaitu jenis bahan bakar dan oksida yang digunakan. Dengan nyala api konvensional yang digunakan dalam fotometri nyala, suhu nyala yang lebih tinggi dicapai dengan oksigen sebagai oksida daripada udara, karena udara mengandung nitrogen, yang dapat menurunkan suhu nyala [8]. Temperatur nyala juga bervariasi sesuai dengan proporsi masing-masing komponen dalam campuran yang mudah terbakar. Jika campuran tidak memasuki *burner* dalam komposisi yang optimal, bahan bakar berlebih atau zat pengoksidasi tidak berpartisipasi dalam reaksi dan gas *inert*, seperti komponen berlebih, menurunkan suhu nyala api. Suhu yang dapat dicapai secara adiabatik di mana tidak ada panas yang masuk atau keluar selama pembakaran. Sedangkan suhu pembakaran disebut suhu nyala. Faktor-faktor yang mempengaruhi suhu nyala: [9]

1. Suhu adiabatik
2. Tekanan atmosfer
3. Pembakaran bahan bakar.
4. Ada atau tidak adanya oksidator selama proses pembakaran
5. Bagaimana stoikiometri pembakaran dilakukan

Guna menentukan *thermodynamic flame temperature* menggunakan hukum pertama *thermodynamic* pada tekanan konstan [10] yakni,

$$\Delta U = Q_p - W_p = Q_p - P\Delta V$$

$$H = U + PV$$

pada tekanan konstan:

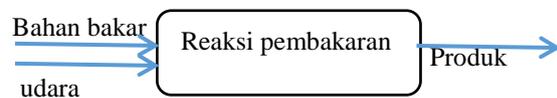
$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V + V \Delta P = \Delta U + P\Delta V$$

kondisi adiabatik

$$Q_p = 0 \text{ dan } \Delta H = 0$$

sehingga skema proses keseimbangan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

$$H_{\text{reactants (fuel + air)}} = H_{\text{products}}$$



**Gambar 1.** Pembakaran bahan bakar

$$\sum H_{\text{reactants}}(T_i, P) = \sum H_{\text{products}}(T, P)$$

$$\sum H_{\text{reactants}}(T_i, P) = \sum n_i \int_{T_{ref}}^T C_{pi} dT + Q_{vL}$$

Diasumsikan  $Q_{vL} = \text{panas laten} = 0$ , Maka *temperature flame*:

$$\sum H_{\text{reactants}}(T_i, P) = \sum n_i [\Delta H_f^o + C_{pi} (T_{ad} - T_{ref})] \dots (1)$$

Temperatur *flame* pada adiabatik volume konstan:

$$Q_{vL} = \Delta U \text{ and } Q_{vL} = Q_p - nRT = \Delta H_p - nRT$$

Pada proses adiabatic:

$$Q_{vL} = 0 = \Delta H_p - \Delta nRT$$

$$H_{\text{reactants}}(T_i, P_i) - H_{\text{products}}(T_{ad}, P_f) - R(n_{\text{reactants}} T_i - n_{\text{products}} T_{ad}) = 0$$

$$H_{\text{reactants}}(T_i, P_i) - H_{\text{products}}(T_{ad}, P_f) - R(n_{\text{reactants}} T_i) = R(n_{\text{products}} T_{ad})$$

Jadi *flame temperatur*:

$$T_{ad} = \frac{H_{\text{reactants}}(T_i, P_i) - H_{\text{products}}(T_{ad}, P_f) - R(n_{\text{reactants}} T_i)}{R n_{\text{products}}}$$

Biotanol (etil alkohol) adalah produk cair proses fermentasi dan distilasi karbohidrat Rumusnya adalah Kimia C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O. Keberadaannya terdapat pada tumbuhan yang mengandung karbohidrat seperti: Jagung, singkong, tebu. Karbohidrat diubah menjadi glukosa dengan hidrolisis, glukosa dalam karbohidrat kemudian diubah menjadi etanol cair dengan fermentasi menggunakan ragi sebagai katalis. Pemisahan etanol dan air dengan proses destilasi menggunakan kalsium oksida (CaO) untuk menghilangkan sisa air [11]. Bioetanol adalah alkohol rantai tunggal dengan angka oktan (RON) adalah 108, nilai kalori rendah, lebih sulit menguap, mudah terbakar dan memiliki nilai kalor 21 MJ/liter, serta mengurangi emisi karena terbakar lebih sempurna [12]. Terdapat 3 (tiga) jenis cara penggunaan etanol sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan bermotor, di antaranya:

- Hydraus Ethanol (96% volumetrik) adalah etanol yang mengandung 4% air.
- Etanol anhidrat terdiri dari etanol tanpa air (99% volume) yang digunakan untuk menggerakkan mesin. Campuran etanol yang dapat langsung menggerakkan mesin tanpa penyetelan apa pun, yaitu campuran bahan bakar etanol 10% dan 90% bensin serta disebut E10.
- Etanol digunakan sebagai aditif bahan bakar umum dikenal sebagai ETBE (ethyl tersierbutylethe).

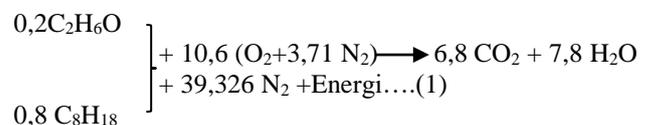
*A. Campuran Bensin dan Bioetanol*

Etanol mempunyai nilai oktan yang lebih tinggi dibandingkan dengan premium. Apabila dicampur dengan premium dapat menaikkan nilai oktan, selain itu mengingat etanol mengandung 30% oksigen, sehingga campuran etanol dengan *gasoline* dapat masuk dalam katagori *high octane gasoline (HOG)*, dimana campuran sebanyak 15% bioetanol setara dengan pertamak (RON 92). Walaupun etanol mempunyai nilai oktan (*octane rating*) lebih tinggi dan emisi gas buang yang lebih bersih dibanding premium, namun etanol juga mempunyai sifat korosif dan membuat mesin lebih sulit distarter. Kesulitan dalam setarter ini memang sulit untuk dihindari, karena temperatur pembakaran sendiri/ *flash point* etanol yang tinggi sehingga pembakaran secara homogen akan sulit tercapai pada tekanan kompresi di ruang bakar. Oleh Karena itu penggunaan campuran etanol premium dibatasi antara 5-25 % agar kinerja mesin tidak terlalu berbeda [14].

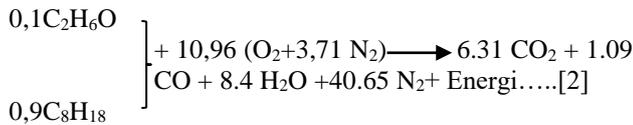
Etanol memiliki angka *researt octane* 108,6 dimana angka tersebut melampaui nilai maksimal yang mungkin dicapai oleh *gasoline* (bensin pertamina memiliki angka *researt octane* 88). Kadar air yang tinggi pada etanol yang dicampurkan pada bahan bakar yang digunakan akan memengaruhi kecepatan pembakaran laminer, hal ini disebabkan oleh uap air pada etanol akan menyerap panas yang menyebabkan berkurangnya kecepatan pembakaran yang terjadi pada ruang bakar [15]. Penggunaan etanol murni sebagai bahan bakar menyebabkan tenaga mesin berkurang hingga 20 %. Hal ini disebabkan karena nilai kalor etanol yang lebih rendah dari bensin serta desain mesin yang ada sekarang hanya khusus untuk bahan bakar bensin. Selain itu karena nilai kalor etanol yang lebih rendah dari pada bensin maka pemakaian etanol sebagai bahan bakar akan jauh lebih boros sekitar 10-25% dari pada bensin. Nilai kalor merupakan suatu angka yang meyakinkan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah bahan bakar dengan udara atau oksigen. Nilai kalor yang rendah menandakan konsumsi bahan bakar yang lebih besar untuk menghasilkan energi yang sama dengan bahan bakar yang memiliki nilai kalor tinggi [16].

Pembakaran adalah reaksi kimia antara komponen-komponen bahan bakar (karbon dan hidrogen) dengan komponen udara (oksigen) yang berlangsung sangat cepat, yang membutuhkan panas awal untuk menghasilkan panas yang jauh lebih besar sehingga menaikkan suhu dan tekanan gas pembakaran. Selama proses pembakaran, butiran minyak bahan bakar, yaitu hidrogen dan karbon, akan bergabung dengan oksigen untuk membentuk air, sedang karbon bergabung dengan oksigen menjadi karbon dioksida. Kalau tidak cukup tersedia oksigen, maka sebagian dari karbon, akan bergabung dengan oksigen menjadi karbon monoksida. Akibat terbentuknya karbon monoksida, maka jumlah panas yang dihasilkan hanya 30 persen dari panas yang ditimbulkan oleh pembentukan karbon monoksida [17].

Pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam mesin otto tidak lagi dengan oksigen murni tetapi dengan bantuan udara yang mengandung berbagai unsur penyusun di dalamnya, diantaranya 78% per satuan volume gas Nitrogen (N<sub>2</sub>), 21% per satuan volume gas Oksigen (O<sub>2</sub>), dan 1% per satuan volume untuk berbagai gas dengan persentase yang sangat kecil. Keadaan yang penting untuk pembakaran yang efisien adalah gerakan yang cukup antara bahan bakar dan udara, artinya distribusi bahan bakar dan bercampurnya dengan udara harus bergantung pada gerakan udara yang disebut pusan [18]. Energi panas yang dilepaskan sebagai hasil proses pembakaran digunakan untuk menghasilkan daya motor bakar tersebut. Reaksi Pembakaran Sempurna E20 diperlihatkan pada persamaan (1) & (2):



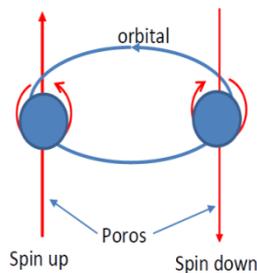
Dari reaksi di atas dapat dilihat bahwa N<sub>2</sub> tidak ikut dalam reaksi pembakaran. Reaksi pembakaran di atas adalah reaksi pembakaran sempurna. Sedangkan reaksi pembakaran sebenarnya atau aktual dapat berupa seperti dibawah ini :



Proses pembakaran adalah proses oksidasi (penggabungan) antara molekul-molekul oksigen ('O') dengan molekul-molekul (partikel-partikel) bahan bakar yaitu karbon ('C') dan hidrogen ('H') untuk membentuk karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan uap air (H<sub>2</sub>O) pada kondisi pembakaran sempurna. Disini proses pembentukan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O hanya bisa terjadi apabila panas kompresi atau panas dari pemantik telah mampu memisah/memutuskan ikatan antar partikel oksigen (O-O) menjadi partikel 'O' dan 'O', dan juga mampu memutuskan ikatan antar partikel bahan bakar (C-H dan atau C-C) menjadi partikel 'C' dan 'H' yang berdiri sendiri. Baru selanjutnya partikel 'O' dapat beroksidasi dengan partikel 'C' dan 'H' untuk membentuk CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Jadi dapat disimpulkan bahwa proses oksidasi atau proses pembakaran antara udara dan bahan bakar tidak pernah akan terjadi apabila ikatan antar partikel oksigen dan ikatan antar partikel bahan bakar tidak diputus terlebih dahulu [18].

**B. Magnetisasi Bahan Bakar**

Teori atom menggambarkan fenomena bahwa negatif elektron yang berputar mengelilingi inti atom menentukan kuat atau tidaknya suatu zat dapat dipengaruhi medan magnet. Seperti unsur-unsur yang terkandung dalam bahan bakar hidrokarbon yang terdiri dari (H<sup>+</sup>) dan (C<sup>-</sup>) dimana jumlah elektronnya tidak sama, maka zat tersebut dapat dipengaruhi medan magnet. Secara fisika, penyebab kemagnetan dalam objek adalah momen magnetik atom yang berkaitan dengan pergerakan elektron, yaitu elektron bergerak mengelilingi inti pada orbitnya dan elektron berputar pada porosnya (spin), sehingga memiliki momentum angular spin, yaitu spin up (+1/2) dan spin down (-1/2) seperti yang disajikan pada Gambar 2 [19].



**Gambar 2.** Momen magnetik berkaitan orbital dan spin elektron

Medan magnet yang cukup kuat pada molekul hidrokarbon akan menyebabkan reaksi penolakan antar molekul hidrokarbon sehingga terbentuk jarak yang optimal antar molekul hidrokarbon (Farraq dan saber 2010). Disisi lain penggunaan magnet berfungsi mempolarisasi hidrokarbon agar memiliki kecenderungan bersifat polar. Apabila hal ini dapat terlaksana, ketertarikan senyawa hidrokarbon dengan oksigen akan lebih kuat bila dibandingkan hidrokarbon tersebut sama sekali netral. Seperti diketahui, apabila suatu molekul bersifat polar, maka kecenderungan menarik molekul lain yang bersifat polar akan semakin kuat. Hal ini akan meningkatkan proses pencampuran oksigen dan molekul hidrokarbon sehingga dapat menyempurnakan pembakaran.

Bentuk hidrokarbon yang paling sederhana adalah metana yang memiliki formula (CH<sub>4</sub>), tersusun atas satu atom karbon yang posisinya berada dibagian paling dalam dan 4 atom hidrogen yang mengelilinginya, dimana secara kelistrikan netral [15,18]. Itulah sebabnya timbul hambatan untuk mengoksidasi secara sempurna atom-atom karbon bagian dalam selama proses pembakaran. Kondisi ini dideteksi dari kadar CO dalam gas buang kendaraan bermotor, disamping gas CO<sub>2</sub>. Berbeda halnya dengan atom-atom hidrogen, karena berada pada posisi paling luar, maka atom-atom hidrogen akan lebih dulu bereaksi dengan atom-atom oksigen. Dari sudut pandang energi, jumlah energi terbesar yang besar yang bisa dilepas terletak pada atom hidrogen. Pada oktana (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>), persentasi karbon yang terdapat dalam molekul adalah 84,2% dari berat molekul total. Ketika dibakar, atom karbon melepaskan energi sebesar 12,224 BTU/lbm. Sementara itu, atom hidrogen yang persentasinya hanya 15,8% dari berat molekul total dapat melepaskan energi panas sebesar 9.810 BTU/lbm. Ini menunjukkan bahwa hidrogen secara nyata merupakan unsur utama dalam menghasilkan energi pada pembakaran hidrokarbon [15]. Hidrogen memiliki satu muatan positif (proton) dan satu muatan negatif (elektron) sehingga menimbulkan momen dipol. Hidrogen juga mempunyai sifat kemagnetan yang berbeda, yakni bisa menjadi diamagnetik atau paramagnetik tergantung orientasi relatif dari spin-spin intinya. Hidrogen memiliki dua jenis isomer yang berbeda sifat yaitu para dan ortho, yang karakternya ditandai melalui perbedaan spin-spin inti yang berlawanan. Dalam molekul para, keadaan spin antara satu atom hidrogen dengan atom hidrogen yang lain saling berlawanan arah (*counter clockwise/antiparalel/one up-one down*), sehingga sifat kemagnetan yang ditimbulkan adalah diamagnetik. Sedangkan dalam molekul ortho, keadaan spin antara satu atom hidrogen dengan yang lainnya adalah searah, sehingga sifat kemagnetan yang ditimbulkan adalah paramagnetik [19].

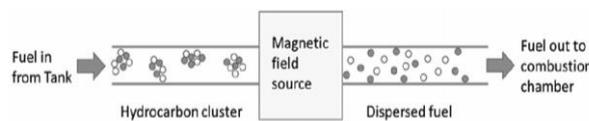
Orientasi *spin* memiliki efek nyata pada perilaku fisik (panas spesifik, tekan uap) sama seperti perilaku molekul gas. Bentuk orthohidrogen sangat tidak stabil dan pada kenyataannya akan lebih mudah bereaksi bila dibandingkan dengan parahidrogen. Bentuk

orthohidrogen lebih menguntungkan, karena kemungkinan meningkatkan energi hasil pembakaran. Untuk menjaga perubahan dari bentuk *para* ke *ortho* maka penting untuk mengubah energi dari interaksi antara arah *spin* dari molekul hidrogen. Medan magnet dapat menimbulkan efek terhadap perubahan arah putaran spin-spin elektron dari hidrogen. Seperti telah diketahui bahwa hidrogen memiliki momen magnet dan momentum sudut yang tidak dapat dihilangkan, dan tidak ada cara yang dapat dilakukan untuk mengubah besarnya [14]. Namun arah sumbu putaran elektron dapat diubah dengan bantuan torsi yang dikerjakan oleh medan magnet.

Jadi bahan bakar merupakan suatu zat yang dapat dipengaruhi oleh medan magnet. Penggunaan medan magnet pada saluran bahan bakar dapat menimbulkan efek *cluster-decluster* [15, 16] dimana ukuran struktur molekul bahan bakar akan berubah menjadi ikatan yang lebih kecil (Gambar 3). Hal ini diyakini sebagai penyebab kinerja motor diesel lebih baik.

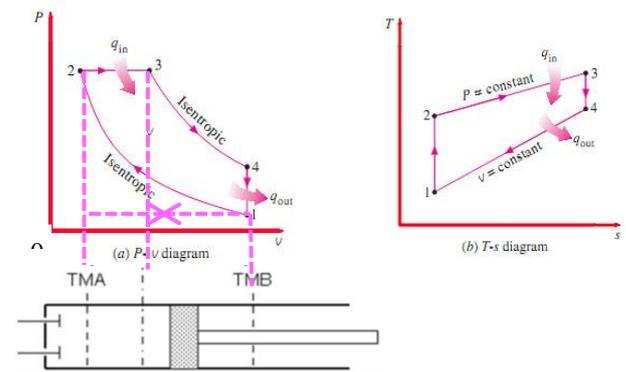
### C. Efek Magnetisasi pada Bahan Bakar

Adanya suatu medan magnet permanen yang cukup kuat pada molekul hidrokarbon yang bersifat diamagnetik dapat mengganggu dan mempengaruhi ikatan H-C. Meskipun ikatan antara atom H-C tidak sampai terlepas satu sama lain, namun kekuatan ikatannya akan sedikit melemah, sehingga atom-atom hidrogen dan karbon akan lebih mudah tertarik dengan oksigen pada proses pembakaran seperti tampak pada Gambar 3, sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dan penurunan kadar emisi gas buang [19].



**Gambar 3.** Perubahan bahan bakar setelah dimagnetisasi

Salah satu tujuan pemagnetan adalah mempolarisasi bensin agar memiliki kecenderungan bersifat polar. Apabila hal ini dapat terlaksana, ketertarikan senyawa hidrokarbon dengan oksigen akan lebih kuat bila dibandingkan hidrokarbon tersebut sama sekali netral. Hal ini akan meningkatkan proses pencampuran oksigen dan molekul hidrokarbon sehingga akan menyempurnakan pembakaran. Untuk mendapatkan nilai temperatur dan tekanan maka digunakan Siklus Carnnot seperti terlihat pada Gambar 4. Siklus tersebut terdiri dari empat buah proses berantai yang reversibel secara internal [20].



**Gambar 4.** Diagram P-V dan T-S

Proses (0 – 1), langkah isap (udara murni) pada tekanan konstan. Pada langkah isap, piston bergerak dari TMA menuju TMB. Saat piston bergerak turun, katup masuk dalam keadaan terbuka, sehingga campuran bahan bakar dan udara terhisap ke dalam silinder. Ketika piston mencapai TMB, katup masuk dalam keadaan tertutup, dapat dikatakan bahwa langkah isap selesai.

$$W_{0-1} = P_0 (V_1 - V_2).$$

Proses (1 – 2), langkah kompresi isentropik. Pada langkah kompresi, kedua katup (katup masuk dan katup buang) dalam keadaan tertutup. Piston bergerak naik dari TMB menuju TMA mendorong campuran bahan bakar dan udara dalam silinder, sehingga menyebabkan tekanan udara dalam silinder meningkat. Sebelum piston mencapai TMA campuran bahan bakar dan udara yang bertekanan tinggi dibakar oleh loncatan bunga api busi.

$$W_{1-2} = \frac{1}{k-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

Proses (2 – 3), proses pembakaran (pemasukan kalor pada volume konstan). Pada proses ini kedua katup tertutup. Piston berada di TMA dan loncatan api busi yang bereaksi dengan campuran udara dan bahan bakar bertekanan tinggi akan menimbulkan pembakaran.

$$Q_{in} = C_v (T_3 - T_2).$$

Proses (3 – 4), langkah ekspansi (kerja). Pada langkah kerja loncatan api busi yang bereaksi dengan campuran bahan bakar dan udara bertekanan tinggi akan menimbulkan letusan. Letusan ini akan menghasilkan tenaga yang mendorong piston bergerak turun menuju TMB. Tenaga yang dihasilkan oleh langkah kerja diteruskan oleh poros engkol untuk menggerakkan gigi transmisi yang menggerakkan gear depan.

$$W_{3-4} = \frac{1}{k-1} (P_3 V_3 - P_4 V_4)$$

Proses (4 – 1), proses pembuangan (pengeluaran kalor) pada volume konstan. Pada proses ini katup isap tertutup dan katup buang terbuka. Posisi piston berada di TMB.

$$Q_{out} = C_v (T_4 - T_1).$$

Proses (1 – 0), langkah buang pada tekanan konstan. Pada langkah pembuangan, piston bergerak naik dari TMB menuju TMA. Katup masuk dalam keadaan tertutup dan katup buang dalam keadaan terbuka. Gas sisa hasil pembakaran terdorong keluar menuju saluran pembuangan. Dengan terbuangnya gas sisa pembakaran, berarti kerja dari langkah – langkah mesin untuk satu kali proses kerja (siklus) telah selesai.

$$W_{1-0} = P_1 (V_2 - V_1)$$

### III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dan didukung teori yang relevan dalam hal ini stoikiometri dan termodinamika. Data diperoleh dengan pengamatan langsung dan pengukuran di lapangan dengan alat ukur yang tersedia. Bahan bakar yang digunakan yaitu campuran bensin dan bioethanol dengan komposisi E0 (100% bensin), E10(10% bioetanol + 90% bensin), E20(20% bioetanol + 80% bensin), E30 (30% bioetanol + 80% bensin). Spesifikasi bahan bakar tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Spesifikasi bahan bakar [20]

Property	Bensin	Bioetanol
Formula (liquid)	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
Molecular weight (g/mol)	11,15	46,07
Density (kg/m <sup>3</sup> )	765	785
Heat of vaporization (kJ/kg)	305	840
Specific heat (kJ/kgK) liquid	2,40	1,70
Specific heat (kJ/kgK) vapour	2,50	1,93
Lower heating value	44000	26900
Stoichiometric air-fuel ratio	14,60	9
Research octane number	92	108,60
Motor octane number	85	89,70
Enthalphy of formation (MJ/kmol) liquid	259,28	224,10

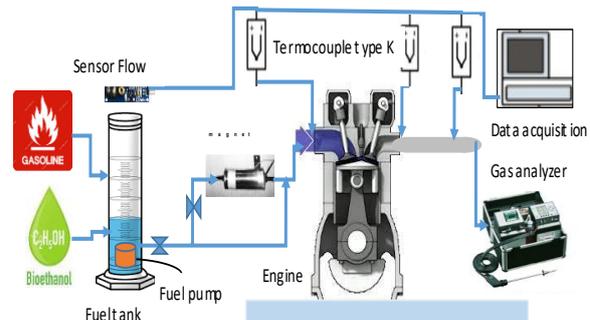
Kuat medan magnet yang digunakan besarnya 1068 Gauss, dasarnya dari hasil penelitian sebelumnya bahwa medan magnet sebesar itu mampu mempengaruhi bahan bakar secara optimal. Mesin yang digunakan untuk penelitian adalah sepeda motor bensin 4 langkah sistem injeksi kapasitas silinder 125 cc dengan spesifikasi mesin terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Spesifikasi mesin bensin [21]

Tipe mesin	4 Langkah SOHC, berpendingin udara
Diameter x langkah	52,40 x 57,90 mm
Volume silinder	125 cc
Perbandingan	9,50 : 1

kompresi	
Power Maksimum	7 kW / 8000 rpm
Torsi Maksimum	9,06 Nm / 5500 rpm
Oli Mesin	0,84 liter
Sistem transmisi	CVT Otomatis
Tipe Kopling	Kering, Centrifugal Automatic
Sistem pengapian	TCI/ Fuel Injection

Penelitian dimulai dengan mengkalibrasi peralatan yang dibutuhkan, memeriksa komponen mesin bensin seperti minyak pelumas, filter oli pelumas dan filter bahan. Selanjutnya, semua instrumen dirangkai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Instalasi alat pengujian

#### A. Prosedur Pengukuran Emisi Gas Buang

Seluruh instrument dirakit seperti Gambar 5, bahan bakar bensin, bioetanol dan udara masuk kedalam mesin, setelah proses pengisapan, kompresi, pembakaran, kerja dan buang. Energi panas akan berubah menjadi energi potensial untuk menggerakkan piston sehingga terjadi kerja. prosedur pengujian sebagai berikut:

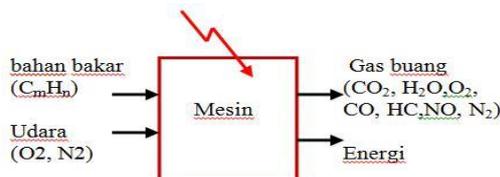
1. Dipasang komponen pompa bensin eksternal pada motor
2. Isi bahan bakar pada gelas ukur atau penampung bahan bakar eksternal
3. Buka keran bensin, nyalakan pompa bensin eksternal hingga seluruh saluran selang terisi bensin
4. Nyalakan mesin selama 1 menit untuk memastikan tidak ada udara terperangkap di saluran bensin
5. Tutup keran saluran bensin, lalu matikan motor
6. Untuk uji Magnet: nyalakan magnet yang telah terisi BBM, tunggu selama 20 menit
7. Setelah 17 menit lalu hidupkan mesin selama 3 menit dengan membuka keran jalur BBM yang tidak melalui magnet. Tujuannya adalah untuk mencapai suhu kerja optimum mesin.
8. Setelah 20 menit maka dilakukan pengukuran konsumsi bahan bakar dengan cara membuka keran BBM yang melalui magnet, dan tutup keran yang tidak melalui magnet.
9. Dalam kondisi mesin hidup dengan putaran konstan 2000 rpm, lakukan pengukuran volume BBM awal di gelas ukur tersebut. Kemudian hidupkan timer untuk 10 menit.

10. Pada exhaust dipasang gas analyzer untuk mengamati efek gas buangnya.
11. Lakukan hal yang sama untuk sampel berikutnya.

Prinsip kerja *gas analyzer* ialah mengambil *gas sample* dari *probe* dimana akan masuk ke masing-masing *sample cell*. Kemudian *gas sample* akan dikomparasikan dengan gas standar melewati pemancaran sistem. Setelah itu, akan menghasilkan perbedaan panjang gelombang dan dikonversi menjadi sinyal analog oleh *receiver*. Jika ada penyimpangan (*error*) maka *gas analyzer* kembali *adjusted* melalui panel kontrol. Untuk hasil pengukuran gas emisi udara (*analyzer*) pada mesin kendaraan yakni CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>x</sub> dan HC

*Gas analyzer* adalah alat yang digunakan untuk menganalisis, mengukur kadar atau konsentrasi gas tertentu apakah kadar dari gas tersebut masih dalam ambang batas yang diperbolehkan atau melebihi batas yang dapat membahayakan lingkungan dan makhluk hidup. Pada bidang otomotif, *gas analyzer* digunakan untuk mengukur kadar atau konsentrasi emisi gas buang dan digunakan sebagai indikator apakah kadar atau konsentrasi emisi gas buang sebuah kendaraan masih layak atau tidak. Karena emisi gas buang yang berada di atas batas aman yang diperbolehkan akan membahayakan lingkungan sekitar dan manusia. Secara umum, gas-gas yang dapat diukur oleh *gas analyzer* adalah HC (hidrokarbon), CO (karbon monoksida), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan oksigen (O<sub>2</sub>) [22].

Selain itu mesin mengeluarkan gas buang yang yang terdeteksi oleh *gas analyzer*, gas tersebut mengandung gas CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CO, HC, NO, dan N<sub>2</sub> seperti disajikan pada Gambar 6. Pada pembahasan keterkaitan antara gas buang dan *flame temperature*, gas yang diperhitungkan hanya CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, dan N<sub>2</sub>.



**Gambar 6.** Bahan bakar dan udara menjadi energi dan gas buang [20]

#### B. Perhitungan Flame Temperatur

Perhitungan flame temperatur diperoleh dengan mensinkronkan antara data uji emisi yang diperoleh secara eksperimen dan teori stokiometri serta themodinamika terkait dengan pembakaran. Prosedur penentuan flame temperatur adalah sebagai berikut:

1. Tentukan perbandingan emisi gas buang CO dan CO<sub>2</sub> berdasarkan hasil uji emisi gas buang yang diperoleh secara eksperimen.
2. Buat persamaan reaksi stokiometri pembakaran tak sempurna dan setarakan reaksi tersebut dengan bantuan data perbandingan CO dan CO<sub>2</sub>
3. Tentukan energi reaksi pembakaran dengan data nilai entalpi pembentukan standar molekul, seperti terlihat pada Tabel 3.

Selanjutnya untuk menentukan *flame temperature* menggunakan rumus berikut:

$$T_{ad} = \frac{H_{\text{reactants}}(T_i, P_i) - H_{\text{products}}(T_{ad}, P_f) - R \sum (n_{\text{reactants}} T_i) / R}{n_{\text{product}}}$$

dimana hasilnya dibandingkan antara *flame temperature* yang tidak menggunakan magnet dan yang menggunakan magnet.

**Tabel 3.** Nilai entalpi pembentukan standar molekul

Molekul	Entalpi Pembentukan Standar ( $\Delta H^{\circ} f$ ) (kJ/mol)	Average specific heat (KJ/Kg mole K)
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-249,73	-
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	-277,70	-
O <sub>2</sub>	0	-
N <sub>2</sub>	0	0
CO <sub>2</sub>	-393,52	0,84
CO	-110,53	1,02
H <sub>2</sub> O	-285,82	1,93

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bensin C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> mengandung unsur lain diantaranya abu, belerang, timbal unsur ini yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Bioetanol C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH merupakan bahan bakar dengan nilai oktan tinggi dan termasuk bahan bakar ramah lingkungan. Kedua bahan bakar ini digabungkan dengan komposisi (E0, E10, E20 dan E30). Untuk menentukan besarnya flame tempertur diperlukan data pengujian emisi gas buang dan persamaan stokiometri reaksi pembakaran sempurna. Adapun hasil uji emisi gas buang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4 menyatakan hubungan antara kadar CO dan CO<sub>2</sub> untuk semua komposisi bahan bakar baik yang dimagnetisasi maupun yang tidak. Tampak bahwa semua bahan bakar uji (E0, E10, E20 dan E30) yang dimagnetisasi kadar CO meurun sedang CO<sub>2</sub> meningkat. Untuk bahan bakar E0, kadar CO<sub>2</sub> meningkat hingga 18.95% sedang CO turun hingga 49.22%. Untuk bahan bakar E10, kadar CO<sub>2</sub> meningkat hingga 14% sedang CO turun hingga 47.29%. Untuk bahan bakar E20, kadar CO<sub>2</sub> meningkat hingga 12.58% sedang CO turun hingga 40.38%.

**Tabel 4.** Hasil uji emisi mesin bensin dengan menggunakan *gas analyzer*

Bahan Bakar	CO (ppm)		CO <sub>2</sub> (ppm)	
	Tanpa Magnet	Magnet	Tanpa Magnet	Magnet
E0	19,22	9,76	46,20	57,00
E10	17,11	8,69	50,82	59,12
E20	15,57	7,91	54,98	62,89
E30	21,14	10,74	40,66	50,16

Untuk bahan bakar E30, kadar CO<sub>2</sub> meningkat hingga 18.18% sedang CO turun hingga 48.12%. hal ini disebabkan medan elektromagnet mampu menggetarkan (meresonansi) ion hidrokarbon dalam bahan bakar. Ionisasi diperlukan agar bahan bakar dapat dengan mudah mengikat oksigen selama proses pembakaran, sehingga campuran bahan bakar dan oksigen dapat terbakar mendekati sempurna.

Kondisi seperti ini menyebabkan rendahnya kandungan CO<sub>2</sub> dalam gas buang menjadi rendah seperti yang terlihat pada gambar. Kandungan CO<sub>2</sub> menunjukkan hasil pembakaran di dalam mesin. Angka idealnya harus di atas 12-15% [6]. Semakin tinggi nilainya semakin baik pembakaran yang terjadi, artinya energi yang dibakar pun makin banyak.

Secara umum kandungan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada kendaraan roda dua yang diuji untuk berbagai kapasitas silinder berada di bawah 12%. Hasil pengukuran ini memperlihatkan motor 150 cc menghasilkan kandungan CO<sub>2</sub> tertinggi, namun hanya mencapai 8,3 %. Hal ini menunjukkan ada beberapa hal yang tidak tepat dalam sistem pembakaran, seperti campuran bahan bakar dengan udara kurang tepat atau ruang bakar yang kotor. Emisi CO yang dihasilkan menunjukkan efisiensi pembakaran di dalam silinder. Gambar menunjukkan angka CO yang dihasilkan jauh di atas nilai standar kesehatan yang diijinkan yakni 10 mg/m<sup>3</sup> [17]. Banyak kemungkinan yang bisa menyebabkan kondisi ini mulai dari karburator, injector, filter udara kotor, *choke* karburator penutup, hingga sampai kebocoran kompresi akibat klep [16].

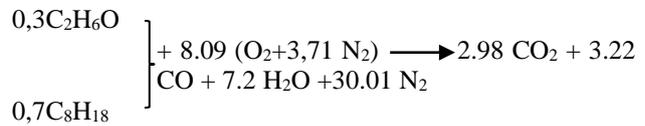
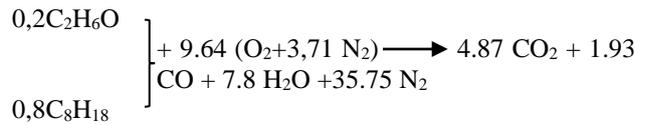
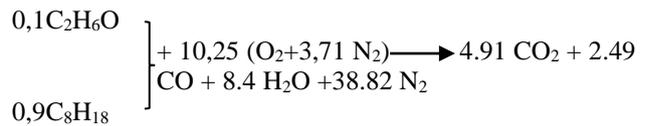
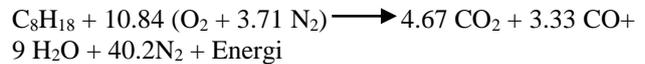
Secara teoritis, semakin kecil kandungan CO semakin sempurna proses pembakarannya dan bensin semakin irit, ini menunjukkan bagaimana bahan bakar dan udara tercampur dan terbakar. Semakin tinggi kandungan CO semakin boros bensinnya, ini menunjukkan kurangnya udara dalam campuran. Secara tepat perbandingan jumlah udara yang masuk dengan dengan jumlah udara teoritis adalah 0,9-1,1. Dalam situasi seperti ini, menunjukkan bahwa campuran bensin udara sangat kurus sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna dan dapat mengakibatkan turunnya daya kendaraan [18].

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kandungan CO<sub>2</sub> tertinggi pada mesin 2 tak dihasilkan oleh motor 250 cc. Fakta di atas menunjukkan semakin besar kapasitas mesin kendaraan semakin tinggi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dan berbanding terbalik dengan produk O<sub>2</sub> seperti disajikan pada Gambar 2. Besarnya kandungan O<sub>2</sub> yang dihasilkan berkisar antara 21-26,3 %. Nilai ini sedikit lebih tinggi dari nilai maksimum O<sub>2</sub> yang dihasilkan pada mesin 4 tak.

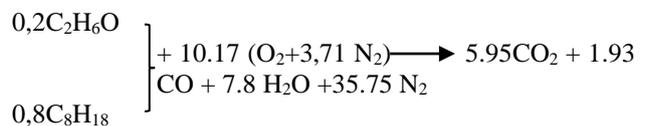
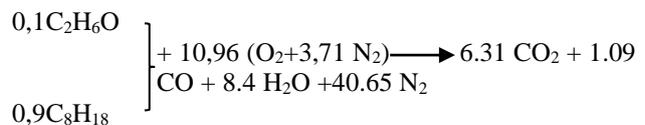
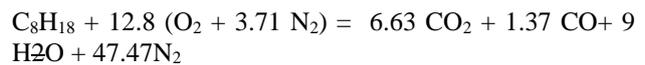
Karakteristik CO yang dihasilkan pada berbagai kapasitas mesin cenderung konstan. Namun nilainya masih cukup tinggi yakni berkisar 2291 mg/m<sup>3</sup> dan jauh di atas baku mutu yang diizinkan. Nilai ini juga jauh di atas rata-rata kandungan CO yang dihasilkan oleh pembakaran mesin 4 tak yang berkisar pada angka 2000 mg/m<sup>3</sup>. Tingginya emisi CO dan rendahnya nilai kandungan CO<sub>2</sub> pada mesin 2 tak yang diuji disebabkan

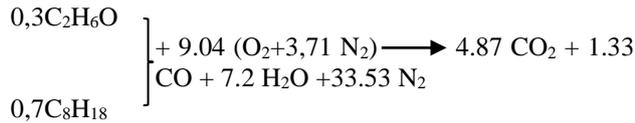
karena kurangnya oksigen untuk menghasilkan pembakaran yang tuntas dan sempurna karena hanya terjadi proses 2 tak pembakaran. Dari perbandingan dua mesin yang berkapasitas sama, terlihat bahwa 4 tak memang memiliki kandungan emisi yang sedikit lebih rendah dibandingkan 2 tak.

Kadar bioetanol yang meningkat memberi kontribusi terhadap penurunan CO dan peningkatan CO<sub>2</sub>, hal ini disebabkan karena bioetanol mempunyai unsur oksigen sedangkan bensin tidak sehingga kandungan bioetanol dapat membantu proses pembakaran menjadi lebih mendekati sempurna. Berbeda untuk kadar bioetanol 30% nilai CO meningkat dan CO<sub>2</sub> turun. Ini disebabkan penggunaan campuran bioetanol dalam bensin > 25% menimbulkan temperatur pembakaran sendiri/flash point tinggi sehingga pembakaran yang homogen akan sulit tercapai pada tekanan kompresi di ruang bakar, sehingga kinerja mesin turun. Untuk konsentrasi bioetanol yang lebih besar harus menggunakan mesin yang sudah dimodifikasi atau mesin yang khusus untuk pemakaian bioetanol. Untuk menghitung flame temperature digunakan persamaan stokiometri yang diperoleh dengan bantuan persamaan 1 & 2 beserta tabel 4. Persamaan stokiometri untuk bahan bakar tanpa proses magnetisasi adalah sebagai berikut:



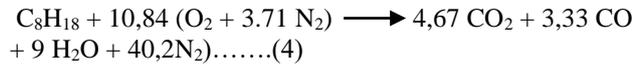
Sedangkan persamaan stokiometri untuk bahan bakar yang dipengaruhi magnetisasi yakni:





Selanjutnya dilakukan perhitungan *flame temperature*, Contoh perhitungan untuk E0 sebagai berikut:

Bila  $T_{ref} = 298 \text{ K}$   
 $H_{reactants} = H_{products}$



Dengan menggunakan persamaan 2 dan Tabel 3 diperoleh:

$$\begin{aligned}
 H_{reactants} &= -249,73 + 10,84(0) + 3,71(0) = -249,73 \text{ J/ mole} \\
 H_{products} &= \sum n_i [\Delta H_f^o + C_{pi} (T_{ad} - T_{ref})] = [(-393,52 \times 4,67) + 0,84(T_{ad} - 298)(4,67)] + [(-110,53 \times 3,33) + 1,02(T_{ad} - 298)(3,33)] + [(-285,2 \times 9) + 1,93 (T_{ad} - 298) (9)]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{products} &= -477 8,183 + 24,708 (T_{ad} - 298) \\
 H_{reactants} &= -249,73 \text{ KJ/kmole}
 \end{aligned}$$

$$T_{ad} - 298 = \frac{(-249,73 + 4778,183)}{24,708}$$

$$T_{ad} = 481,278 \text{ K}$$

Jadi *thermodynamic flame temperature* = 481,278 K = 208,278°C.

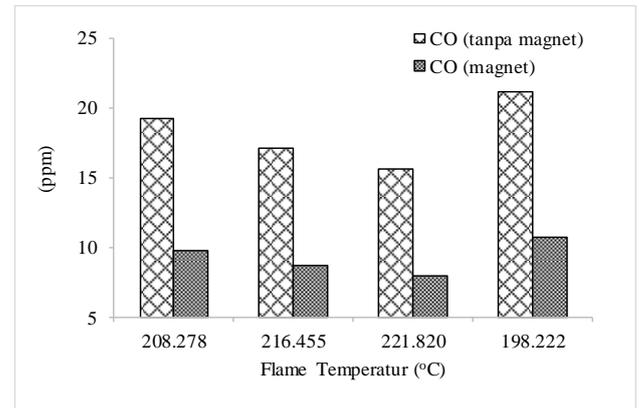
Cara diatas diulangi untuk menghitung *flame temperature* pada bahan bakar yang lain. Hasil perhitungannya ditunjukkan pada Tabel 5

**Tabel 5.** Flame temperature untuk berbagai bahan bakar

No	Bahan Bakar	Flame Temperature (no Magnet)	Flame Temperature (Magnet)
1	0	208,28	233,64
2	10	216,46	236,03
3	20	221,82	238,20
4	30	198,22	228,82

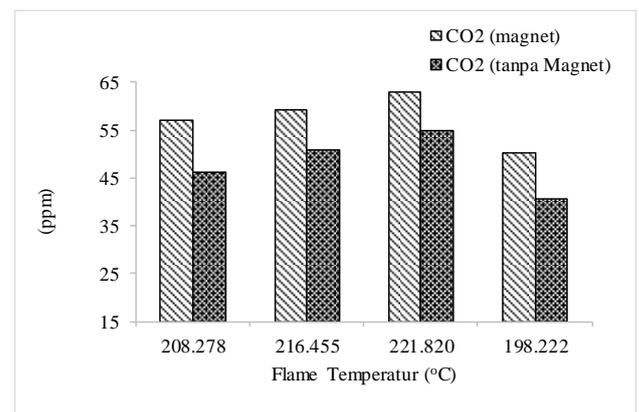
Tabel 5. Memperlihatkan *flame temperatur* untuk berbagai komposisi bahan bakar, tampak bahwa nilai *flame temperature* bahan bakar yang dimagnetisasi lebih tinggi daripada yang tidak dimagnetisasi, hal ini terjadi karena magnetisasi bahan bakar menyebabkan terjadinya pembakaran yang lebih sempurna, artinya *flame temperature* yang dihasilkan pada proses ini mendekati *flame temperature* teori, dan semua bahan bakar terbakar habis sehingga sisa pembakaran sedikit,

terbukti dari hasil uji emisi. Berdasarkan literatur, *flame temperatur* bensin sekitar 323°C.



**Gambar 7.** Hubungan antara *flame temperatur* dengan kadar CO (karbon monoksida)

Gambar 7 menyajikan grafik hubungan antara *flame temperature* dengan CO, tampak bahwa bahan bakar yang dimagnetisasi menghasilkan kadar CO yang lebih kecil dibandingkan dengan bahan bakar yang tidak dimagnetisasi, hal ini menunjukkan bahwa magnetisasi menyebabkan pembakaran menjadi lebih sempurna, sehingga sisa pembakaran udara dengan oksigen berupa CO menjadi lebih sedikit. Sebaliknya kadar CO2 meningkat, artinya antara udara dan bahan bakar, proses pembakarannya sempurna sehingga terbentuk CO2, seperti ditunjukkan pada Gambar 8 .



**Gambar 8.** Hubungan antara *flame temperatur* dengan kadar CO2 (karbon dioksida)

**V. KESIMPULAN**

*Flame temperatur* meningkat berkisar 7-15% setelah bahan bakar melewati medan magnet, hal ini berefek pada emisi gas buang yaitu menurunkan kadar CO hingga 49% dan meningkatkan kadar CO2 hingga 19%. Data ini berpotensi sebagai informasi awal bahwa magnetisasi bahan bakar dapat meningkatkan kualitas pembakaran.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada UP2M-PNJ yang telah mendanai penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] Okoronkwo C, Nwachukwu, Ngozi, Igbokwe. The effect of electromagnetic flux density on the ionization and the combustion of fuel. *American Journal of Scientific and Industrial Research*. vol.1, no. 3. 2014. pp 527-534.
- [2] Habbo AR, Khalil AR, Hammoodi HS. Effect of Magnetizing the Fuel on the Performance of an S.I. Engine. *Journal Al Rafidain Engineering*, vol.6, no.19, 2014, pp. 84-90.
- [3] Kumar PV, Patro SK, Pudi V. Experimental study of a novel magnetic fuel ionization method in four stroke diesel engines. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. Vol. 3 , no. 1, 2014 , pp 1-10.
- [4] Jain S, Deshmukh S. 2012. Experimental Investigation of Magnetic Fuel Conditioner in I.C. Engine, *IOSR Journal of Engineering*. vol. 2, no.7, 2012, pp 27-31.
- [5] Cahyono, A., *ASEAN Oil Security and Emergency Preparedness Workshop*, Bangkok, 2017 .
- [6] Hunt, V.D., *The Gasohol Handbook*, Industrial Press Inc., New York, 1981, pp 121-147
- [7] Nufus T.H, Radite PAS, Hermawan W, Tambunan A. *Characterization of biodiesel fuel and its blend after electromagnetic exposure*. *Cogent Engineering*, vol.4, no. 1, 2017 , pp 1-10.
- [8] Alper C, Yakup İ, Hamit S. & Hasan Y. A Comparison of Engine Performance and the Emission of Fusel Oil and Gasoline Mixtures at Different Ignition Timings. *International Journal of Green Energy*, vol.12, no. 2, 2015, pp 767–772.
- [9] La Puppung, P., *Pengaruh Sifat-Sifat Fisika dan Kimia Bensin terhadap Kinerja Motor Bensin*, Lemigas, Jakarta. 2013 .
- [10] Moo-Young, Murray, et al., *Comprehensive Biotechnology*, Pergamon Press, New York, 2005
- [11] Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin 88 menurut SK Dirjen Migas No. 3674 K/24/DJM/2006, website [www.migas.esdm.go.id](http://www.migas.esdm.go.id), diakses 8 september 2021
- [12] Owen, K., and Coley, S., *Automotive fuels Reference Book, Second Edition*, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, USA, 2015
- [13] Cengel, Yunus A, Boles, Michael A. *Termodinamika an Engineering Approach*. Fifth. New York: Mc Graw-Hill. 2006.
- [14] Mariaca, A. G. and Castaño, R. M. Anhydrous bioethanol gasoline blends at high altitude above sea level in a SI engine. *Biofuels*. Taylor & Francis. 2018. pp.1759-7269.
- [15] Stella Corsetti, Florian M. Zehentbauer, David McGloin, Johannes Kiefer. Characterization of gasoline/ethanol blends by infrared and excess infrared spectroscopy. *Fuel*. vol.141.2015. pp 136-142.
- [16] Nufus T.H, Radite PAS, Hermawan W, Tambunan A. . Characterization of biodiesel fuel and its blend after electromagnetic exposure. *Cogent Engineering*. vol.4. 2017. Pp.1-10.
- [17] Alper C, Yakup İ, Hamit S. & Hasan Y. A Comparison of Engine Performance and the Emission of Fusel Oil and Gasoline Mixtures at Different Ignition Timings. *International Journal of Green Energi*. vol. 12. 2015. pp 767–772.
- [18] Ahmet Uyumaz, Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with mustard oil biodiesel fuel blends at different engine loads. *Fuel*. vol. 12. 2018. pp 256-267.
- [19] Haoye Liu, Zhi Wang\*, Jianxin Wang, Xin He. Improvement of emission characteristics and thermal efficiency in diesel engines by fueling gasoline/diesel/PODEn blends. *Energi*. Vol. 97. 2016. pp 106-112.
- [20] Igbokwe, J. O., Nwufu, O. C., Nwaiwu, C. F., Ononogbo, C. and Ezeji, K. M. D. Performance characteristics of a single cylinder spark ignition engine fuelled with ethanol–petrol blends at constant engine speed. *Biofuels*. Vol.72. 2016. pp 69-78
- [21] Golnoush Ghiasi, Irufan Ahmedl, Nedunchezhian Swaminathan\* Gasoline flame behavior at elevated temperatur and pressure. *Fuel*. Vol.238. 2019. pp 248–256.
- [22] Rodrigo C. Costa, José R. Sodr , Compression ratio effects on an ethanol/gasoline fuelled engine performance. *Applied Thermal Engineering*. Vol 31 2011. pp 278-283.