

Ulasan: Kebolehan Medan Magnet Merawat Bahan Api Hidrokarbon dalam Enjin Pembakaran Dalam

(Review: Magnetic Field Ability to Treat Hydrocarbon Fuel in Internal Combustion Engine)

Ahmad Fazli Mohamad Nor, Wan Mohd Faizal Wan Mahmood* & Muhamad Alias Md Jedi

Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering & Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

**Corresponding author: faizal.mahmood@ukm.edu.my*

Received 4 March 2022, Received in revised form 4 July 2022

Accepted 5 August 2022, Available online 30 January 2023

ABSTRAK

Peningkatan penggunaan bahan api fosil dan tahap pencemaran udara yang tinggi mendorong penyelidik meneroka pelbagai kaedah untuk mengurangkan kesannya. Selain daripada naiktaraf komponen enjin, modifikasi molekul bahan api juga berupaya menyumbang kepada penyelesaian. Penggunaan medan magnet pada paip bahan api sebelum ianya dipancit dalam enjin menjadi salah satu alternatif penting bagi meningkatkan penyampaian enjin dan mengurangkan pembebasan gas ekzos yang mencemarkan. Kajian terdahulu membuktikan bahawa medan magnet berupaya meningkatkan kadar pembakaran dengan mempengaruhi molekul bahan api. Setelah rawatan magnet dilakukan, atom hidrogen dalam bahan api hidrokarbon lebih cenderung untuk bertindakbalas dengan molekul oksigen dan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna. Namun, keputusan yang diperolehi daripada penyelidik adalah berbeza-beza daripada segi kadar penjimatan dan pengeluaran gas ekzos yang bergantung kepada keadaan ujikaji tertentu. Walaupun sesetengah penyelidik berjaya merekodkan penjimatan bahan api yang signifikan dan persis, namun kaedah ini masih belum popular dikalangan pengeluar kenderaan dan pengguna. Objektif laporan ini diterbitkan adalah bagi membincangkan kajian berkaitan pengaruh medan magnet kepada bahan api hidrokarbon dan kesan pembakarannya dalam enjin. Penemuan daripada penyelidikan terdahulu hingga kini dirangkumkan yang menerangkan perihal tindakbalas molekul bahan api semasa rawatan magnet dijalankan serta faktor-faktor utama yang menyumbang kepada pengionan yang lebih berkesan dalam meningkatkan prestasi enjin dan pengurangan gas ekzos secara ketara.

Kata kunci: Enjin; prestasi; penggunaan bahan api; gas ekzos; magnet

ABSTRACT

The increasing consumption of fossil fuels and the high emission of exhaust gases have encouraged researchers to explore different approaches to reduce its consequences. Apart from focussing on the engine components, modifications on the fuel molecules can also deliver huge improvement. Using magnetic fields on the fuel line becomes one of the promising alternatives to give a better performance of the engine and produce less hazardous emissions. Previous researchers have proven that the magnetic field could enhance combustion rate by influencing the fuel molecules. After the magnetic treatment, hydrogen atoms in the hydrocarbon fuel tend to react better with oxygen molecules, thus creating more improved combustion. However, the results were varied among the researchers with huge ranges, especially in the rate of fuel-saving and emissions depending on the experiment's setup. While many previous researchers have reported significant improvement in engine performance with the use of the magnetic fields on the fuel line, some reported insignificant effects. Despite the promising potential, this method has not received much attention from both automotive manufacturers and users. The objective of this paper is to discuss the previous studies regarding influences of the magnetic field to the hydrocarbon fuel and engine's output. Based on the up-to-date research findings, discussion and explanations consisting of molecular reactions, important factors in influencing the changes in the engine performance and exhaust emissions are to be discussed.

Keywords: Engine; performance; fuel consumption; emission; magnet

PENGENALAN

Sejak revolusi perindustrian pertama bermula, bahan api fosil telah diekstrak secara besar-besaran bagi menampung permintaan industri. Sehingga kini, ia masih menjadi sumber terpenting dalam sektor tenaga dan dilihat kebergantungan terhadapnya semakin meningkat walaupun banyak usaha mencari alternatif lain telah dijalankan (Martins et al. 2019). Penggunaan bahan api hidrokarbon bagi tahun 2017 melonjak sebanyak 1.7 juta tong sehari mengatasi purata penggunaan sepuluh tahun dahulu. Peningkatan drastik yang dicatat ini bersamaan 2.2% peningkatan secara tahunan yang menyumbang kepada pembebasan gas ekzos yang tinggi serta meningkatkan suhu bumi (British Petroleum 2018). Namun, penurunan penggunaan bahan api dicatat pada tahun 2020 iaitu sebanyak 4.5% disebabkan oleh faktor penularan sejagat Covid-19 (British Petroleum 2021). Penggunaan bahan api hidrokarbon secara besar-besaran bukan sahaja memberi kesan kepada peningkatan harga komoditinya, malah penggunaannya melalui enjin yang tidak cekap menyumbang kepada kesan rumah hijau (Lelieveld et al. 2019). Kesan daripada pembakaran kurang sempurna juga menyumbang kepada pembebasan gas berbahaya yang boleh menyebabkan kematian serta memberi kesan buruk kepada sudut ekonomi (Brugha & Grigg 2014; IARC Working Group 2015; Lelieveld et al. 2019; De Marco et al. 2019; Ochoa-Hueso et al. 2017). Mitigasi segera perlu dilakukan bagi mengurangkan kesan kepada alam (Kuo & Smith 2018). Penghasilan partikel asap yang halus daripada enjin diesel juga berbahaya yang boleh menyebabkan ia diserap jauh ke dalam paru-paru (Dang et al. 2008).

Pemakaian piawai emisi yang lebih ketat menyebabkan pengeluar kereta tidak mempunyai pilihan iaitu beralih daripada enjin pembakaran dalaman (Reynaert 2020). Namun pertukaran keseluruhan teknologi yang lebih hijau memerlukan masa. Semakin lama tempoh teknologi itu untuk matang, semakin banyak kesan buruk terhasil daripada pembakaran enjin yang tidak cekap. Chen & Borken-Kleefeld (2016) menyatakan penyusutan prestasi enjin direkodkan antara 5-10% bagi kenderaan enjin diesel selepas sela perjalanan 250,000 km. Antara penyumbang kepada masalah ini adalah penghasilan produk yang tidak diinginkan seperti pembentukan mendakan karbon yang tidak terbakar sempurna. Keadaan ini menyebabkan gangguan operasi pada komponen penting enjin di dalam kebuk pembakaran, pemancit dan karburator (Fatih & M.Saber 2010).

Pelbagai modifikasi dan naiktaraf telah dibuat ke atas sistem enjin sediaada bagi meningkatkan kadar pembakaran. Kecekapan haba brek yang biasa dicatat bagi enjin pada sebuah lori kapasiti sederhana adalah sekitar 40% pada keadaan tanpa beban. Nilai ini dilihat masih pada tahap yang rendah dan pelbagai usaha dilakukan untuk meningkatkannya (Johnson & Joshi 2017). Pengenalan teknologi baharu seperti hibrid dan enjin elektrik dapat menyediakan penyelesaian yang lebih holistik. Namun,

ianya hadir dengan kos yang tinggi dan negara membangun pasti sukar menanganinya. Penyelidik cuba meneroka kaedah lain dengan melakukan modifikasi kepada bahan api dan menggunakan bahan api yang lebih mesra alam (Alagumalai 2014).

Oleh kerana banyak kesan buruk terhasil, kadar penggunaan sumber perlu diminimumkan. Pelbagai penyelidikan meningkatkan prestasi enjin pembakaran dalam dan mengurangkan gas ekzos telah dijalankan tanpa menaiktaraf enjin secara major. Antaranya, pengawalan susunan molekul udara masukan sebelum dipancit ke dalam kebuk pembakaran (Cheruyiot et al. 2015), menambah kandungan oksigen semasa pancitan (Baskar & Senthilkumar 2016), modifikasi masa dan tempoh suntikan bahan api (Sayin & Canakci 2009), pengoptimuman operasi EGR (Maiboom et al. 2008), penambahan pemangkin dalam bahan api (Mehta et al. 2013), meningkatkan tindak balas pembakaran bahan api dengan air (Chang et al. 2013; Tsai et al. 2015), kajian bahan pemangkin dalam penukar bermangkin (He & Yu 2005) dan penggunaan penapis partikel pada bahan api (Heeb et al. 2007). Satu kaedah yang kurang mendapat perhatian adalah kaedah penggunaan medan magnet bagi meningkatkan prestasi enjin dan mengurangkan gas ekzos. Kaedah ini boleh dilakukan kerana tindak balas semula jadi terhasil antara medan magnet dan molekul hidrokarbon. Susunan molekul hidrokarbon diperbaiki selepas melalui medan magnet yang mencukupi lalu meningkatkan kadar tindakbalas dengan molekul oksigen (Abdul-Wahhab et al. 2016). Fokus laporan ini adalah menentukan dan menerokai faktor penting dalam rawatan medan magnet yang akan diulas dan dibincangkan dengan lebih terperinci.

KAJIAN PERPUSTAKAAN

PEMBAKARAN BAHAN API HIDROKARBON

Bahan api yang diperoleh daripada pengekstrakan minyak mentah petroleum terdiri daripada rangkaian molekul hidrokarbon yang kompleks. Ikatan karbonnya wujud dalam bentuk rangkaian panjang dan rangkaian cincin yang terikat secara tepu dan tidak tepu. Molekul hidrokarbon wujud dalam isomer yang berbeza-beza iaitu parafin, naftalena, aromatik dan olefin yang mempunyai sifat yang berbeza. Namun, parafin dengan ikatan tepu (kumpulan alkana) adalah yang paling lazim (Gonçalves et al. 2011).

Tindak balas pembakaran bahan api hidrokarbon hanya boleh berlaku apabila ia meruwap dan bercampur dengan molekul oksigen. Pada kondisi biasa, sebahagian molekul oksigen gagal menembusi ke dalam kluster molekul hidrokarbon menyebabkan percampuran tidak berlaku dengan baik (Nedunchezian & Dhandapani 1999). Antara kesan buruk daripadanya adalah penghasilan mendakan karbon pada komponen dalam enjin, pelepasan hidrokarbon tidak terbakar (HC) serta pelepasan gas karbon monoksida (CO) dan jelaga yang tinggi (Sankar et al. 2018).

Antara kaedah meningkatkan tahap pembakaran dalam enjin adalah dengan mengkaji karakter molekul bahan api

semasa pembakaran. Penyelidik lebih tertumpu melakukan kajian terhadap tindak balas atom hidrogen memandangkan tenaga bagi setiap jisim molekul (*energy per molecular mass*) yang dibebaskan semasa pembakaran oleh hidrogen melebihi karbon (Ugare et al. 2013). Oleh itu, usaha meningkatkan tindak balas pembakaran adalah dengan melakukan modifikasi kepada konfigurasi atom hidrogen dalam sebatian cecair bahan api agar tindakbalas dengan oksigen dipertingkatkan semasa pembakaran.

TINDAK BALAS MEDAN MAGNET

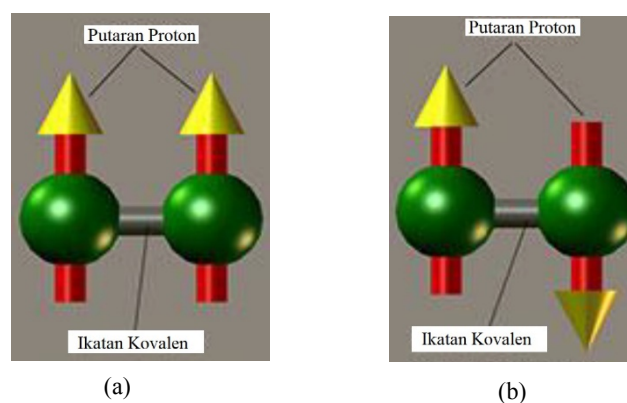
Medan magnet boleh diperolehi daripada sumber magnet kekal dan elektromagnet. Magnet kekal adalah lebih baik memandangkan tiada tenaga luar yang diperlukan dan kekuatannya tidak berkurang dengan masa (Sahoo & Jain 2019). Kebanyakan penyelidik memilih magnet aloi yang terdiri daripada neodimum, ferum dan boron (Nd-Fe-B) kerana nisbah kekuatan kepada saiznya paling tinggi berbanding magnet Ferrite, Alnico dan Samarium-Cobalt. Kelebihan lain magnet Nd-Fe-B adalah sifat menghalang pengaratannya yang tinggi dan sesuai bagi aplikasi yang mementingkan saiz yang kecil (Attar et al. 2020; Fathallah et al. 2020; Trout 2000). Walaubagaimanapun, kawalan suhu operasi perlu dilakukan bagi memastikan suhu operasi adalah dalam julat optimum iaitu di bawah 100 °C walaupun suhu curie magnet boleh mencapai 480 °C (Miyake & Akai 2018). Ia boleh menyebabkan prestasi magnet merudum dengan pengurangan magnitud medan magnet dan menyebabkan keseluruhan kajian terganggu (Jain & Deshmukh 2012; Ma & Narasimhan 1986). Penggunaan magnet yang lebih tebal dan gred yang tinggi meningkatkan kekuatan dan ketahanan magnet namun ianya lebih mahal (Xiong et al. 2016).

Setiap bahan yang bertindak balas dengan magnet akan menunjukkan sifat samada diamagnetik ataupun paramagnetik. Bahan dengan sifat diamagnetik akan menjauhi sumber medan magnet (Ueno & Iwasaka 1994) dan bahan dengan sifat paramagnetik akan mendekati sumber medan magnet. Antara kriteria pembakaran yang baik adalah percampuran udara dan bahan api dapat berlaku

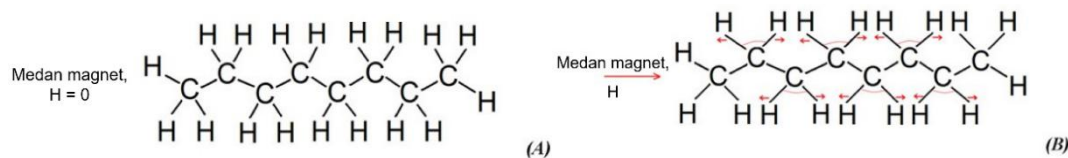
dengan berkesan. Ini membolehkan tindak balas antara molekul oksigen dengan molekul hidrokarbon meningkat, seterusnya menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna.

Setiap bendalir juga menunjukkan tindak balas paramagnetik ataupun diamagnetik bergantung kepada komposisinya. Tindak balas ini wujud kerana momen magnet telah wujud secara semula jadi hasil daripada putaran cas positif proton dan cas negatif elektron. Apabila medan magnet luar diberikan, elektron cenderung menyerap tenaga tersebut dan bergerak dengan tenaga yang lebih tinggi. Daya Van Der Waals semakin melemah dan ikatan kovalen daripada perkongsian elektron valen mudah diatasi. Kluster padat hidrokarbon semakin mudah dipecahkan lalu menyebabkan oksigen berupaya sampai ke dalam sebatian ketika pembakaran. Tindak balas oksigen semasa pembakaran juga bergantung kepada keadaan atom hidrogen dalam sebatian. Pada suhu bilik, kebanyakan atom hidrogen wujud dalam keadaan hidrogen para iaitu ia wujud secara rapat. Arah putaran proton (*proton spin*) hidrogen memainkan peranan menentukan keadaan ini. Putaran proton sesuatu atom hidrogen pada arah bertentangan dengan atom hidrogen yang lain seperti pada rajah 1(a) menghasilkan sifat yang kurang reaktif. Momen magnet yang terhasil adalah sejajar namun pada arah yang bertentangan menyebabkan dua atom berdekatan tertarik. Hidrogen tersusun dengan lebih rapat dan menunjukkan tindakbalas dengan sifat diamagnetik (Libin & Kumar 2019; Ubaid et al. 2014).

Apabila molekul hidrokarbon dibekalkan dengan medan magnet yang mencukupi, atom hidrogen bertindak berputar pada arah yang sama dengan hidrogen yang berdekatan. Momen putaran proton yang sama arah terhasil lalu menyebabkan atom hidrogen menjauhi atom lain dan wujud keadaan hidrogen orto seperti yang ditunjukkan pada rajah 1(b). Hidrogen orto lebih reaktif kerana mempunyai ruang yang lebih luas antara atom seperti yang digambarkan dalam Rajah 2. Molekul oksigen diserap jauh ke dalam molekul hidrokarbon dan menggalakkan tindak balas yang lebih sempurna (Abdul-Wahhab et al. 2016; Calabrò & Magazù 2015; Govindasamy & Dhandapani 2007a, 2007b; M Patel et al. 2014; Sahoo & Jain 2019).



RAJAH 1. Putaran proton hidrogen pada keadaan (a) hidrogen para (b) hidrogen orto (M Patel et al. 2014)



RAJAH 2. Perubahan susunan hidrogen dalam molekul hidrokarbon daripada (a) hidrogen para kepada (b) hidrogen orto (Calabrò & Magazù 2015)

PENGARUH MAKROSKOPIK MEDAN MAGNET KEPADA BENDALIR

Ueno & Iwasaka (1994) dalam kajian mereka berjaya menggunakan medan magnet untuk mengawal aliran bendalir. Aliran dapat diberhentikan sepenuhnya apabila medan magnet bertindak balas dengan sifat diamagnetik yang ada pada bendalir. Namun, ianya dapat dicapai dengan penggunaan magnitud medan magnet yang amat besar iaitu sehingga 80,000 Gs. Kajian ke atas bendalir juga menunjukkan perubahan pada sifat termodinamikanya. Tenaga dalaman dan kapasiti haba didapati meningkat apabila medan magnet yang mencukupi diberikan (Zhou et al. 2000).

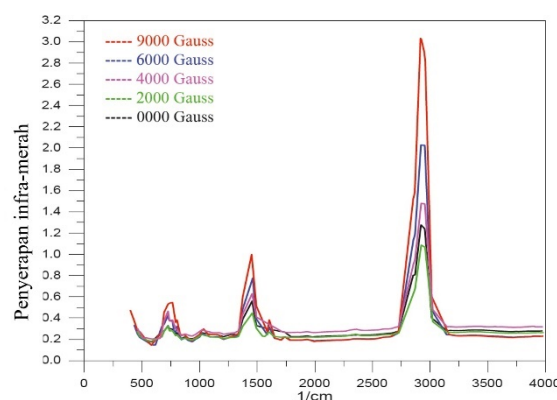
Perkara utama yang perlu dicapai bagi menggalakkan pembakaran adalah menurunkan kelikatan bahan api. Perubahan ini dapat menyediakan susunan molekul yang kurang padat dan menggalakkan pembakaran yang lebih sempurna. Satu kaedah menurunkan kelikatan bendalir hidrokarbon dengan efektif tanpa memanasakannya adalah dengan menggunakan medan magnet. Pengenalan medan magnet pada tempoh masa yang memadai dapat mengurangkan kelikatan tanpa menaikkan suhunya (Loskutova et al. 2008; Tao & Xu 2006), namun kesannya hanya secara makroskopik (Abdel-Rehim & Attia 2014).

Gonçalves et al. (2011) telah menjalankan kajian bagi mengenalpasti tindak balas antara beberapa sampel sebatian hidrokarbon dengan nisbah parafin berbeza. Sampel diberikan medan magnet bermagnitud 13,000 Gs selama 1 minit. Sepanjang proses itu, nilai pemagnetan bagi sampel berubah-ubah daripada positif kepada negatif menunjukkan bahan api hidrokarbon adalah terdiri daripada campuran bahan yang bersifat diamagnetik dan paramagnetik. Keputusan yang diperoleh terhadap kelikatan adalah berbeza-beza antara sampel namun kelikatannya boleh menurun sehingga 39% apabila medan magnet diberikan dengan suhu terkawal. Kajian juga menunjukkan kehadiran ion lain yang wujud dalam sebatian seperti Mn^{2+} juga memainkan peranan kepada penurunan kelikatan (Gonçalves et al. 2011). Oleh yang demikian, kajian magnet terhadap prestasi enjin perlu memalarkan jenis dan pengeluaran bahan api yang digunakan. Thiyagarajan et al. (2019) telah menjalankan kajian menggunakan medan magnet pada bahan api bio yang berlainan jenis. Hasilnya keputusan yang berlawanan telah diperolehi.

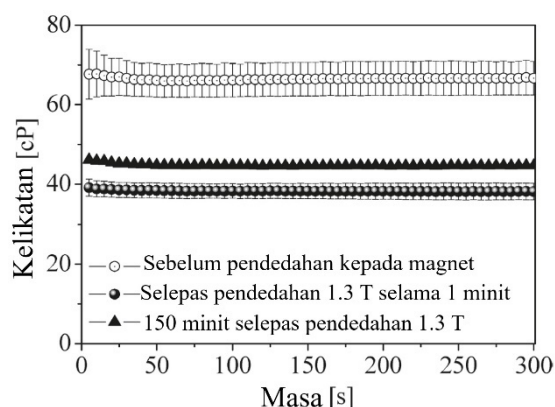
Rawatan magnet telah disokong oleh Faris et al. (2012) to reducing consumption, as well as reducing the emission of certain pollutants rates. The experiments in current research comprise the using of permanent magnets with different intensity (2000, 4000, 6000, 9000 yang menjalankan kajian berkaitan getaran sebatian hidrokarbon yang dirawat dengan medan magnet bermagnitud 2,000, 4,000, 6,000 dan 9,000 Gs dan diperhatikan dengan menggunakan spektroskopi infra-merah. Bahan api yang telah dirawat menunjukkan penyerapan infra-merah yang lebih tinggi seperti pada Rajah 3. Daya tarikan antara molekul berkurang setelah rawatan dan membolehkan tindak balas pembakaran boleh berlaku dengan lebih berkesan.

Semua minyak berasaskan petroleum akan memberikan kesan yang serupa seperti parafin. Ujian ke atas minyak berunsurkan hanya parafin sahaja menunjukkan kadar alirannya meningkat sehingga dua kali ganda apabila diberikan medan magnet (Tao et al. 2014; Tao & Tang 2014). Nufus et al. (2017) pula mengkaji bahan api biodiesel bergred B10 dengan medan magnet. Keputusan yang sama diperoleh iaitu kelikatan semakin berkurang apabila medan magnet diberikan.

Salah satu perkara yang perlu diberi penekanan adalah kebolehan molekul bahan api mengekalkan sifat dan susunan molekulnya setelah dirawat. Kelikatan sampel yang dibiarkan selama 150 minit bertambah sebanyak 20% daripada kelikatan yang telah dikurangkan seperti Rajah 4 (Gonçalves et al. 2011). Molekul bahan api gas seperti gas asli pula lebih sukar untuk dikekalkan susunannya setelah rawatan (Abdul-Wahhab et al. 2016).



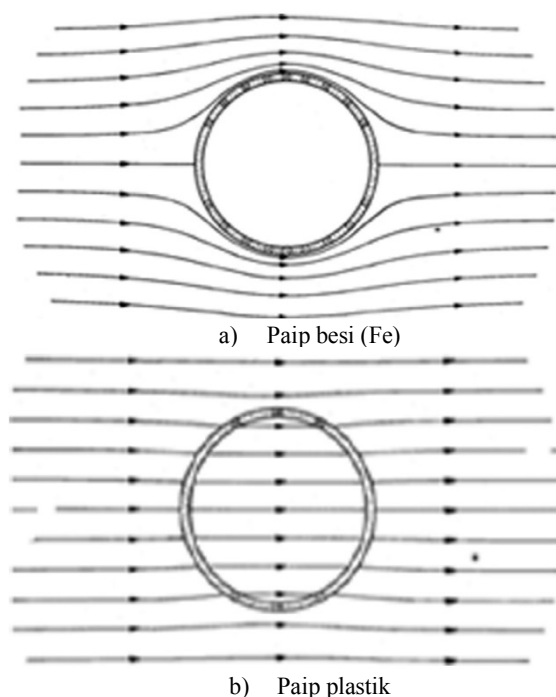
RAJAH 3. Tahap kekuatan serapan ultraviolet oleh bahan api yang dirawat dengan magnitud magnet berbeza (Faris et al. 2012)



RAJAH 4. Perbezaan tahap kelikatan bagi sampel yang didedahkan kepada medan magnet serta setelah 150 minit direhatkan (Gonçalves et al. 2011)

FAKTOR PENINGKATAN TINDAKBALAS MAGNET DAN PERUBAHAN PRESTASI ENJIN

Pelbagai kaedah telah dijalankan oleh penyelidik bagi mencari kesan medan magnet kepada pembakaran termasuk mengkaji faktor jenis paip dan lokasi pemasangannya pada enjin. Chavan & Jhavar (2016) menyatakan penggunaan magnet pada paip logam menyebabkan gangguan pada medan magnet. Ia disokong oleh Sahoo & Jain (2019) yang menyatakan medan magnet tidak dapat menembusi paip yang dibuat daripada bahan bersifat ferromagnetik seperti Rajah 5.



RAJAH 5. Corak medan magnet melalui paip besi dan plastik (Sahoo & Jain 2019)

Oleh kerana kesan susunan hidrokarbon yang telah dirawat berkurang dengan masa, lokasi pemasangan paling hampir dengan pemancit adalah dicadangkan (Chavan & Jhavar 2016). Merujuk kepada Rajah 6, posisi 1 merupakan lokasi yang paling hampir dengan pemancit dan lokasi lain adalah semakin menjauhi pemancit dengan jarak yang tidak dinyatakan. Pada posisi 1, peningkatan kecekapan haba brek yang paling tinggi iaitu sehingga 15%. Melalui pengawalan tersebut, penggunaan magnet Nd-Fe-B bermagnitud 3,000 Gs pada enjin diesel telah menurunkan penggunaan bahan api tentu brek sehingga 10%. Hidrokarbon yang tidak terbakar (HC), oksida-oksida nitrogen (NO_x), karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO_2) juga mencatat penurunan sehingga 21%, 28%, 6% dan 7.5% (Sahoo & Jain 2019).

Faktor utama yang mempengaruhi prestasi enjin adalah magnitud medan magnet yang digunakan. Chen et al. (2017) menggunakan magnet Nd-Fe-B berbentuk tiub yang dipatenkan dengan kekuatan 150 Gs terhadap enjin generator dengan bahan api diesel. Penggunaan bahan api tentu brek dan kecekapan haba brek hanya diperbaiki antara 3-4% sahaja. Namun, medan magnet tersebut berupaya mengurangkan gas ekzos dengan signifikan. Zarahhan (*PM*), CO, HC dan CO_2 menurun sehingga 33%, 11%, 64%, 4 dan 13% kerana susunan hidrogen bagi diesel telah berubah daripada para ke orto apabila melalui medan magnet menyebabkan ia mudah untuk bertindak balas dengan oksigen. Oksida-oksida bagi nitrogen (NO_x) pula meningkat sehingga 13% disebabkan oleh peningkatan suhu hasil daripada pembakaran yang lebih sempurna.

Abdel-Rehim & Attia (2014) telah menggunakan magnitud medan magnet lebih besar daripada sumber gelung elektromagnet dengan bahan teras dan panjang yang berbeza. Kekuatan dihasilkan antara 1,300 Gs sehingga 2,620 Gs. Keputusan terbaik diperoleh apabila dua (2) gelung dengan kekuatan tertinggi digunakan. Peningkatan kuasa output lebih tinggi iaitu sehingga 13% bagi laju putaran enjin yang sama dicatat. Penggunaan bahan api juga berkurang lebih banyak iaitu sehingga 15% disamping penurunan gas CO, HC dan NO_x sebanyak 61.5%, 53% dan 50%.

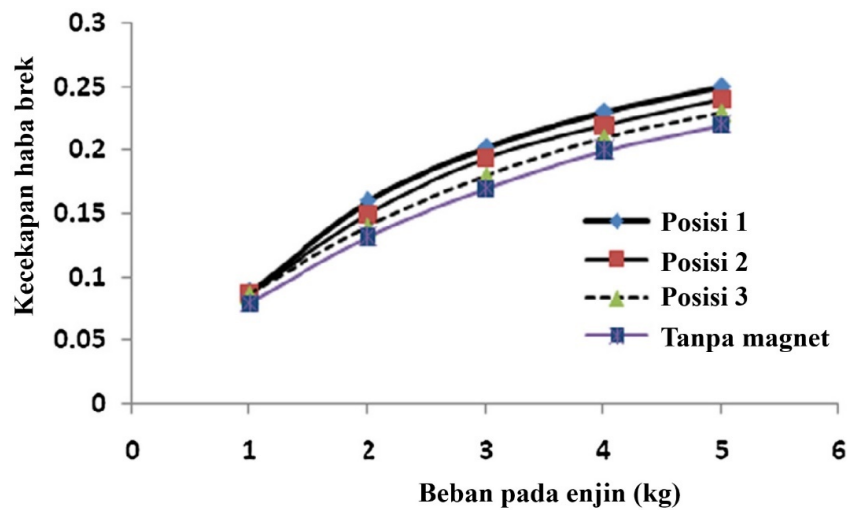
Antara faktor lain yang perlu diberi penekanan juga adalah tempoh pengionan medan magnet kepada bahan api. Aliran yang laju perlu dibekalkan dengan medan magnet yang lebih lama (Arias Gilart et al. 2020; Niaki et al. 2019). Tipole et al. (2017) menguji magnet bermagnitud 3,000 Gs pada enjin diesel silinder tunggal. Tempoh pengionan dimanipulasi dengan pengenalan sehingga empat pasang magnet bermagnitud sama secara bersiri. Merujuk kepada Rajah 7, prestasi penjimatan bahan api paling tinggi dicapai menggunakan tiga pasang magnet. Penggunaan magnet yang berlebihan pula menyebabkan prestasi berkurangan. Terdapat titik optimum medan magnet yang akan memberikan hasil yang terbaik bagi enjin tersebut. Dalam ujian berbeza, kaedah yang sama dijalankan pada empat enjin yang berbeza. Didapati penjimatan bahan api masih

belum mencapai tahap maksimum walaupun lima pasang magnet dipasang (Tipole et al. 2019).

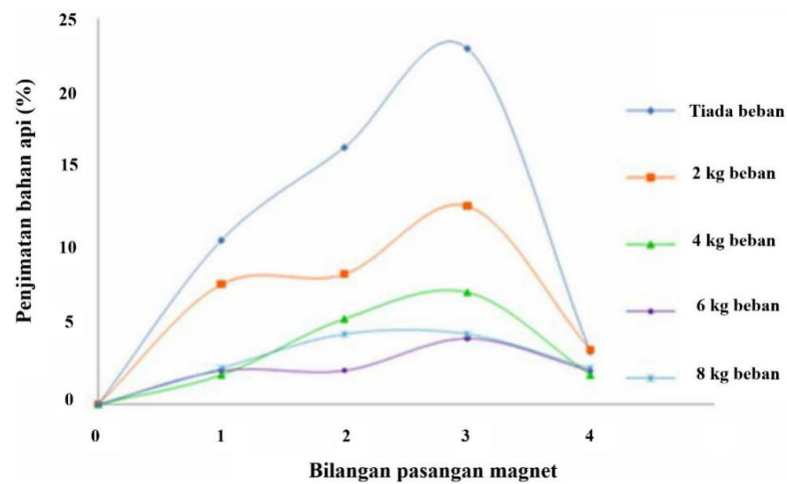
Niaki et al. (2019) dalam kajian pula menggunakan magnet kekal Nd-Fe-B gred N38H bermagnitud maksimum 9,000 Gs pada kenderaan jenis Peugeot, 4 silinder bersesaran 1,761cc. Kajian menunjukkan bahan api yang dirawat menghasilkan suntikan bahan api yang lebih halus seperti yang ditunjukkan pada Rajah 8. Suhu dan tekanan dalam silinder yang diperoleh juga lebih rendah. Walau bagaimanapun, hasil yang dapat diperhatikan adalah penjimatan bahan api direkodkan antara 4-12%. Nufus et al. (2020) pula mencatatkan profil tekanan yang berlainan. Peningkatan tekanan yang konsisten diperhatikan apabila

rawatan magnet diberikan. Ini kerana medan magnet berjaya mengubah ikatan antara molekul hidrokarbon dan mengurangkan ketumpatan dan ketegangan permukaan. Ia menjadikan proses percampuran udara dan bahan api menjadi lebih berkesan. Oleh itu, bahan api terbakar dengan lebih sempurna dan menghasilkan tenaga yang lebih tinggi. Penggunaan magnet pada cecair etanol dan minyak bio yang lain juga menaikkan suhu pembakaran secara konsisten (Thiyagarajan, Edwin Geo, et al. 2019; Ulfiana et al. 2021).

Niaki et al. (2019) juga merekodkan penjimatan yang semakin berkurang pada laju enjin yang tinggi yang disebabkan oleh tempoh pengionan yang tidak mencukupi oleh kerana kapasiti enjin yang besar digunakan.



RAJAH 6. Kesan tahap kecekapan haba brek pada beban enjin yang berbeza mengikut posisi magnet dipasang (Sahoo & Jain 2019)



RAJAH 7. Kesan tahap penjimatan bahan api dengan penggunaan beberapa bilangan magnet (Tipole, Karthikeyan, Bhojwani, Tipole, et al. 2017)



RAJAH 8. Perbezaan kesan semburan bahan api sebelum dan selepas rawatan magnet (Niaki et al. 2019)

Oommen & G. N (2020) telah mempertimbangkan faktor yang lain iaitu pengaruh bentuk magnet yang dipasang pada paip bahan api. Magnet berbentuk bongkah dan silinder berongga digunakan yang menyediakan medan magnet bercorak paksi dan berjejari. Hasil yang diperoleh adalah penggunaan medan magnet berjejari memberikan penjimatan tambahan sehingga 49% daripada penjimatan yang dicapai menggunakan medan magnet paksi pada kekuatan yang sama.

Banyak kajian lain yang telah dilakukan oleh penyelidik menunjukkan keputusan yang berbeza-beza mengikut jenis dan kapasiti enjin yang digunakan. Penggunaan enjin yang berbeza menunjukkan perubahan yang berbeza. Tipole et al. (2019) telah menjalankan kajian menggunakan magnet pada beberapa enjin yang berlainan. Walaupun semua enjin menunjukkan kemajuan, namun perubahan yang dicatat adalah berbeza-beza. Para penyelidik juga berdepan situasi yang sukar bagi menentukan magnitud medan magnet

yang terbaik untuk digunakan. Beberapa kajian terdahulu menggunakan magnitud yang berbeza-beza antara 150 Gs sehingga 10,000 Gs. Walaupun begitu, semua konfigurasi tersebut merekodkan penjimatan bahan api yang ketara iaitu antara 4% sehingga 23.4% seperti yang ditunjukkan dalam jadual 1. Merujuk jadual tersebut juga merekodkan penurunan HC dan CO yang dilepaskan antara 20-34% dan 7-40%.

Jadual 1 juga memperincikan kesan NO_x setelah rawatan magnet. Terdapat percanggahan keputusan yang direkodkan antara penyelidik. Beberapa kes merekodkan peningkatan NO_x sehingga 19%, namun rata-rata penyelidik merekodkan penurunan antara 11 hingga 56% apabila medan magnet diberikan sebelum bahan api disuntik ke dalam kebuk pembakaran. Perubahan pelepasan gas karbon dioksida juga tidak konsisten antara penyelidik. Beberapa penyelidik mendapati gas tersebut menurun sehingga 10%. Namun ramai penyelidik merekodkan kenaikan antara 3-12% .

JADUAL 1. Perbandingan keputusan penyelidikan penggunaan magnet pada bahan api berbanding keadaan tanpa magnet

No	Rujukan	Konfigurasi magnet	Spesifikasi enjin	Penemuan				
				Perbezaan penggunaan bahan api (%)	CO (%)	HC tidak terbakar (%)	CO ₂ (%)	NO _x (%)
1	Raj Kumar & Janardhana Raju (2021)	Magnet kekal 12,000 Gs	5.2 kW, 1 silinder	-19.3	-13	-15	X	12.4
2	Chandravanshi et al.(2021)	Magnet kekal 4,000 Gs	Tidak diberikan	-9	X	X	X	X
3	Oommen & G. N (2020)	Magnet kekal 6,400 Gs	44.5 kW, 4 silinder	-17	-32	-13	27	-19
4	Arias Gilart et al. (2020)	Beberapa magnet kekal 3,600 Gs	13.4 kW, 2 silinder, 930 cm ³	-4	-21	-7	X	-4
5	Chandrasekaran et al. (2020)	Elektromagnet bermagnitud 4,000 hingga 10,000 Gs	6 kW, 1 silinder	-11	-25	-14	12	-11
6	Hazwi et al. (2019)	Bermagnitud 2,500 Gs	1000 cm ³ , 1 silinder	-22	-20	-6	5	X

bersambung ...

... sambungan

6	Tipole et al. (2019)	Magnet kekal 3,000 Gs	5.5 – 11.1 kW, 1 silinder, 97 – 150 cm ³	X	-17	-68	20	X
7	Niaki et al. (2019)	Magnet kekal 9,000 Gs	1761 cm ³ , 4 silinder	-12	-11	-18	-10	-10
8	Sahoo & Jain (2019)	Magnet kekal 3,000 Gs	3.5 kW, 1 silinder	-10	-6	-21	-7	-28
9	C. Y. Chen et al. (2017)	Magnet tiub 150 Gs	30 kW	-4	-11	-64	-4	13
10	Sankar et al. (2018)	Magnet kekal 5,000 Gs	8.2 kW, 1 silinder, 99 cm ³	X	-10	-25	3	X
11	Tipole, Karthikeyan, Bhojwani, Tipole, et al. (2017)	Beberapa magnet kekal 3,000 Gs	47.7 kW, 3 silinder, 998 cm ³	-23.4	X	X	X	X
12	Tipole, Karthikeyan, Bhojwani, Deshmukh, et al. (2017)	Beberapa magnet kekal 3,000 Gs	47.7 kW, 3 silinder, 998 cm ³	X	-17	-18	3.4	X
13	Chaware & Basavaraj (2015)	Elektromagnet bermagnitud sehingga 4,000 Gs	3.75 kW, 1 silinder	-12	-8	-34	-9	-17
14	M Patel et al. (2014)	Magnet kekal 2,000 Gs	5.2 kW, 1 silinder, 661 cm ³	-8	-37	-30	-9	-27
15	A. Abdel-Rehim & A.A. Attia (2014)	Beberapa electromagnet bermagnitud 2,620 Gs	9.7 kW, 1 silinder	-15.5	-20	-19	X	-56
16	Ugare et al. (2013)	Magnet kekal 5,000 Gs	256 cm ³ , 1 silinder	-12	-11	-26	-11	19
17	Faris et al. (2012)	Magnet kekal 8,000 Gs	4 kW, 1 silinder	-14	-40	-30	10	X
18	Fatih & M.saber (2010)	Tidak diberikan	15 kW, silinder	-15	-7	-66	X	-30

PERBINCANGAN

Terdapat dua jenis sumber medan magnet yang boleh digunakan pada enjin iaitu medan magnet daripada magnet kekal dan elektromagnet. Magnet kekal lebih sesuai diaplikasikan pada enjin memandangkan tiada tenaga luar yang diperlukan serta pemasangan yang lebih senang dan selamat. Bagi mendapatkan magnitud yang tinggi dan saiz yang kecil, kebanyakan penyelidik menggunakan magnet Nd-Fe-B, namun ia mempunyai suhu operasi yang tidak tinggi. Bagi memastikan suhu persekitaran tidak mengganggu prestasinya, magnet perlu ditebat dan ventilasi yang baik diperlukan. Selain itu, penggunaan magnet dengan gred yang tinggi juga boleh digunakan bagi memperbaiki prestasi magnet.

Selain magnitud magnet, faktor penting lain adalah lokasi magnet dipasang dan tempoh medan magnet diberikan. Semakin Panjang magnet permukaan magnet pada paip bahan api, semakin cekap pengionan berlaku. Penggunaan beberapa magnet juga berupaya meningkatkan kadar rawatan. Lokasi terhampir dengan pemancit menghasilkan perubahan yang lebih ketara kerana molekul hidrokarbon yang telah dirawat menunjukkan kesan yang sementara dan berkurang dengan masa. Manakala, peningkatan aliran bahan api menyebabkan tempoh pengionan tidak mencukupi. Ini mungkin menyebabkan enjin dengan

kapasiti yang besar, beban dan pada laju yang tinggi akan menghasilkan peningkatan prestasi yang tidak signifikan.

Keputusan yang dicatat terhadap pembebasan gas NO_x dan CO₂ adalah tidak konsisten bagi kajian-kajian yang telah dilakukan. Penjelasan yang boleh diberikan adalah seperti berikut. Hasil rawatan medan magnet menghasilkan profil suntikan yang lebih halus, lalu meningkatkan campuran antara bahan api dengan udara. Molekul oksigen berupaya sampai ke dalam molekul bahan api dan meningkatkan percampuran. Ia menambah baik prestasi pembakaran. Produk pembakaran tidak lengkap seperti hidrokarbon yang tidak terbakar dan gas karbon monoksida menurun. Akibatnya, pertambahan kuantiti CO₂ yang dilepaskan boleh meningkat. Namun, oleh kerana penggunaan magnet berupaya menjimatkan bahan api, kuantiti karbon yang tersedia juga berkurang menyebabkan CO₂ yang dilepaskan boleh berkurang.

Penghasilan NO_x adalah berkait rapat dengan tekanan dan suhu yang dihasilkan dapat silinder beserta kuantiti oksigen yang hadir. Penyelidik merekodkan keputusan yang berbeza pada tekanan dan suhu apabila magnet diberikan. Peningkatan kedua parameter ini menyebabkan pembentukan NO_x semakin tinggi dan sebaliknya. Kajian yang lebih terperinci perlu dilakukan bagi memahami dan menjawab data yang tidak konsisten ini.

Terdapat juga kajian yang mencatatkan penurunan penjimatan bahan api apabila medan magnet berlebihan diberikan. Perubahan ini masih belum dihuraikan dan kajian terperinci perlu dilakukan. Setiap enjin bersifat unik dan menunjukkan perubahan yang berbeza-beza apabila bahan api terawat digunakan. Pembakaran dalam enjin bergantung kepada tetapan talaannya yang terdiri daripada beberapa faktor penting seperti suhu, nisbah tekanan, proses ambilan udara, nisbah campuran udara kepada bahan api dan sebagainya. Perbezaan keputusan yang signifikan antara penyelidik juga disebabkan beberapa faktor lain antaranya kapasiti enjin yang digunakan, jenis dan gred bahan api, instrumen kajian dan metodologi yang berbeza. Penyelidik juga perlu menerangkan kaedah pengawalan terhadap parameter kawalan yang boleh mempengaruhi keputusan seperti spesifikasi bahan api, jenis paip bahan api, kawalan suhu operasi magnet dan lokasi pemasangan magnet secara terperinci.

KESIMPULAN

Medan magnet berupaya merawat molekul bahan api dan meningkatkan tahap prestasi pembakaran dalam enjin. Ianya mempunyai potensi yang besar bagi membantu penghasilan enjin yang lebih mesra alam. Prestasi enjin bertambah baik, penjimatan bahan api dicatat dan pengurangan gas ekzos yang ketara berjaya dicapai hasil penyelidikan yang telah dijalankan sejak lebih sepuluh tahun dahulu. Rekod 5 tahun kebelakang pula menunjukkan penyelidik telah mula mengkaji menggunakan magnet pada enjin kenderaan yang lebih besar. Antara faktor utama yang mempengaruhi rawatan magnet adalah kekuatan magnet, panjang pengionan, bentuk magnet serta lokasi pemasangannya. Terdapat juga faktor yang masih menjadi tanda tanya seperti kehadiran ion asing dalam molekul bahan api dan penggunaan corak medan magnet yang berbeza yang berupaya membantu proses rawatan bahan api. Jika persoalan ini berjaya dijawab dengan kajian, penjimatan tambahan bahan api yang pasti dicapai. Persoalan yang biasa ditanya adalah, apakah parameter magnet yang paling sesuai digunakan pada sesebuah enjin kenderaan. Sebelum menjawab persoalan ini, masih banyak kajian yang diperlukan bagi memahami hubungan antara faktor utama yang terlibat secara menyeluruh. Tambahan, keputusan daripada penyelidikan terdahulu terlalu berbeza dalam julat yang besar. Semua parameter pengionan medan magnet kepada bahan api yang terlibat perlu dikaji dengan terperinci agar keputusan yang lebih ketara dan persis diperolehi. Selain itu, ujian terhadap enjin berkapasiti besar yang biasa digunakan pada kenderaan perlu dilakukan secara meluas.

Peningkatan prestasi enjin terbaik dicatat dengan rawatan menggunakan magnet yang kuat. Ketika ini, terdapat kekangan menyediakan magnet kekal berkekuatan melebihi 12,000 Gs dengan saiz yang praktikal. Kos yang tinggi dan masalah pengendalian magnet menyebabkan ramai penyelidik menggunakan magnet yang sederhana

kuat. Aplikasi magnet juga telah terbukti berjaya mengubah kelikatan sesetengah bendalir tanpa mempengaruhi suhunya. Jika mekanisma ini dikaji dengan teliti, rawatan medan magnet berupaya mengubah sifat bendalir dengan signifikan dan menyumbang kepada operasi yang lebih berkesan serta berpotensi diguna pakai pada bendalir lain seperti minyak sistem hidraulik, sistem pelinciran, bendalir pemindahan haba atau aplikasi lain. Dengan kemajuan teknologi magnet pada masa hadapan, dijangka magnet yang lebih kecil dan berkekuatan tinggi serta pengendalian yang lebih mudah dapat dihasilkan. Potensi penggunaannya dijangka lebih meluas dan membolehkan kajian susulan dapat dilakukan agar peluang pengkomersialan dalam industri dapat direalisasikan. Oleh itu, kajian berterusan rawatan magnet kepada bendalir dicadang diteruskan seiring pembangunan teknologi magnet.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) atas sokongan terhadap kertas penyelidikan ini.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- A. Abdel-Rehim, A. & A.A. Attia, A. 2014. Does magnetic fuel treatment affect engine's performance? In *SAE 2014 World Congress & Exhibition 2014*, 01–1394.
- Abdul-Wahhab, H.A. Al-Kayiem, H.H. A. Aziz, A.R. & Nasif, M.S. 2016. Survey of invest fuel magnetization in developing internal combustion engine characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79: 1392–99.
- Alagumalai, A. 2014. Internal combustion engines: Progress and Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38: 561–71.
- Arias Gilart, R. Ungaro, M.R.B. Rodríguez, C.E.A. Hernández, J.F.F. Sofia, M.C. & Verdecia, D.D. 2020. Performance and exhaust gases of a diesel engine using different magnetic treatments of the fuel. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* 14(1): 6285–94.
- Attar, A. Arulprakasajothi, M. Vasulkar, D. Gorde, N. Kharat, S. & Kulkarni, S. 2020. Investigation of impact of the magnetic field through Halbach Array on Hydrocarbon Fuel. *International Journal of Ambient Energy* 1–10.
- Baskar, P. & Senthilkumar, A. 2016. Effects of oxygen enriched combustion on pollution and performance characteristics of a Diesel Engine. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 19(1): 438–43.
- British Petroleum. 2018. BP statistical review of World Energy 2018 London: British Petroleum P.L.C.
- British Petroleum. 2021. BP Statistical Review of World Energy 2021 London: British Petroleum P.L.C.
- Brugha, R. & Grigg, J. 2014. Urban air pollution and respiratory infections. *Paediatric Respiratory Reviews* 15(2): 194–99.

- Calabrò, E. & Magazù, S. 2015. FTIR spectroscopy analysis of molecular vibrations in Gasoline Fuel under 200 MT static magnetic field highlighted structural changes of Hydrocarbons Chains. *Petroleum Science and Technology* 33(19): 1676–84.
- Chandrasekaran, M. Prakash, K.B. Prakash, S. & Ravikumar, M. 2020. Influence on performance and emission characteristics of Diesel engine by introducing Medium Strength Magnetic Field in Fuel and Air Lines. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 764.
- Chandravanshi, A. Pandey, S. & Malviya, R.K. 2021. Effect of magnetization of biodiesel on its chemical properties and performance and emission parameters of Diesel Engine. *Journal of Engineering Research (Kuwait)* (Issue, Icippsd Special): 1–15.
- Chang, Y.C. Lee, W.J. Lin, S.L. & Wang, L.C. 2013. Green Energy: Water-Containing Acetone-Butanol-Ethanol Diesel Blends Fueled in Diesel Engines. *Applied Energy* 109: 182–91.
- Chavan, S. & Jhavar, P. 2016. Effects of application of magnetic field on efficiency of petrol engine. *International Research Journal of Engineering and Technology* 03(09): 152–61.
- Chaware, K. & Basavaraj, M. 2015. Effect of fuel magnetism by varying intensity on performance and emission of single cylinder four stroke Diesel Engine. *International Research Journal of Engineering and Technology* 2(7): 1121–26.
- Chen, C.Y. Lee, W.J. Mwangi, J.K. Wang, L.C. & Lu, J.H. 2017. Impact of magnetic tube on pollutant emissions from the Diesel Engine. *Aerosol and Air Quality Research* 17(4): 1097–1104.
- Chen, Y. & Borken-Kleefeld, J. 2016. NO_x emissions from Diesel passenger cars worsen with age. *Environmental Science and Technology* 50(7): 3327–32.
- Cheruyiot, N.K. Lee, W.J. Mwangi, J.K. Wang, L.C. Lin, N.H. Lin, Y.C. Cao, J. Zhang, R. & Chang-Chien, G.P. 2015. An overview: Polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from the stationary and mobile sources and in the ambient air. *Aerosol and Air Quality Research* 15(7): 2730–62.
- Dang, S.S. Serafino, A. Müller, J.O. Jentoft, R.E. Schlögl, R. & Fiorito, S. 2008. Cytotoxicity and inflammatory potential of soot particles of Low-Emission Diesel Engines. *Environmental Science and Technology* 42(5): 1761–65.
- Faris, A.S. Al-Naseri, S.K. Jamal, N. Isse, R. Abed, M. Fouad, Z. Kazim, A. Reheem, N. Chalooob, A. Mohammad, H. Jasim, H. Sadeq, J. Salim, A. & Abas, A. 2012. Effects of magnetic field on fuel consumption and exhaust Emissions in Two-Stroke Engine. *Energy Procedia* 18: 327–38.
- Fathallah, A.Z.M. Iswanto, A. & Perdana, H.N.H. 2020. The effect of using various magnetic materials on Diesel Engines Using Biodiesel Fuel. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research* 5(2): 117–21.
- Fatih, F.A.E. & M.saber, G. 2010. Effect of fuel magnetism on engine performance and emissions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 4(12): 6354–58.
- Gonçalves, J.L. Bombard, A.J.F. Soares, D.A.W. Carvalho, R.D.M. Nascimento, A. Silva, M.R. Alcântara, G.B. Pelegrini, F. Vieira, E.D. Pirola, K.R. Bueno, M.I.M.S. Lucas, G.M.S. & Rocha, N.O. 2011. Study of the factors responsible for the rheology change of a Brazilian Crude Oil under Magnetic Fields. *Energy and Fuels* 25(8): 3537–43.
- Govindasamy, P. & Dhandapani, S. 2007a. Experimental investigation on the effect of magnetic flux to reduce emissions and improve combustion performance in a Two-Stroke, Catalytic-Coated, Spark-Ignition Engine. *International Journal of Automotive Technology* 8(5): 533–42.
- Govindasamy, P. & Dhandapani, S. 2007b. Performance and emissions achievements by magnetic energizer with a single cylinder two stroke catalytic coated spark ignition engine. *Journal of Scientific and Industrial Research* 66(6): 457–63.
- Hazwi, M. Sitorus, T.B. Arjuna, J. & Sinaga, P. 2019. Utilization of magnetic devices to improve the performance and reduce gas emissions of Otto Engine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 505(1): 1–8.
- He, H. & Yu, Y. 2005. Selective catalytic reduction of NO_x over Ag/Al₂O₃ Catalyst: From reaction mechanism to Diesel Engine Test. *Catalysis Today* 100(1–2): 37–47.
- Heeb, N. V. Zennegg, M. Gujer, E. Honegger, P. Zeyer, K. Gfeller, U. Wichser, A. Kohler, M. Schmid, P. Emmenegger, L. Ulrich, A. Wenger, D. Petermann, J.L. Czerwinski, J. Mosimann, T. Kasper, M. & Mayer, A. 2007. Secondary Effects of Catalytic Diesel Particulate Filters: Copper-Induced Formation of PCDD/Fs. *Environmental Science and Technology* 41(16): 5789–94.
- IARC Working Group. 2015. 109 World Health Organization IARC. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer.
- Jain, S. & Deshmukh, S. 2012. Experimental investigation of magnetic fuel conditioner (M.F.C) in I.C. Engine. *IOSR Journal of Engineering* 02(07): 27–31.
- Johnson, T. & Joshi, A. 2017. Review of vehicle engine efficiency and emissions. *SAE Technical Papers* 01(0907): 1–23.
- Kuo, T.C. & Smith, S. 2018. A systematic review of technologies involving Eco-Innovation for enterprises moving towards sustainability. *Journal of Cleaner Production* 192: 207–20.
- Lelieveld, J. Klingmüller, K. Pozzer, A. Burnett, R.T. Haines, A. & Ramanathan, V. 2019. Effects of fossil fuel and total anthropogenic emission removal on public health and climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116(15): 7192–97.
- Libin, P.O. & Kumar, G.N. 2019. A study on the effect of magnetic field on the properties and combustion of hydrocarbon fuels. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development* 9(3): 89–98.
- Loskutova, Y. V. Yudina, N. V. & Pisareva, S.I. 2008. Effect of magnetic field on the paramagnetic, antioxidant, and viscosity characteristics of some crude oils. *Petroleum Chemistry* 48(1): 51–55.
- M Patel, P.M. Rathod, G.R. & Patel, T.M. 2014. Effect of magnetic field on performance and emission of single cylinder four stroke Diesel Engine. *IOSR Journal of Engineering* 4(5): 28–34.
- Ma, B.-M. & Narasimhan, K.D.V. 1986. Temperature dependence Of magnetic properties of Nd-Fe-B magnets. *Journal of Magnetism and Magnetic Material* (54–57): 559–62.
- Maiboom, A. Tauzia, X. & Hétet, J.F. 2008. Experimental study of various effects of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on combustion and missions of an automotive direct injection Diesel Engine. *Energy* 33(1): 22–34.
- De Marco, A. et al. 2019. Impacts of air pollution on human and ecosystem health, and implications for the National Emission Ceilings Directive: Insights from Italy. *Environment International* 125: 320–33.
- Martins, F. Felgueiras, C. Smitkova, M. & Caetano, N. 2019. Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in European Countries. *Energies* 12(6): 1–11.
- Mehta, R.N. Chakraborty, M. & Parikh, P.A. 2013. Nanofuels: Combustion, engine performance and emissions. *Fuel* 120: 91–97.

- Miyake, T. & Akai, H. 2018. Quantum theory of Rare-Earth magnets. *Journal of the Physical Society of Japan* 87(4): 1–10.
- Nedunchezian, N. & Dhandapani, S. 1999. Experimental investigation of cyclic variation of combustion parameters in a catalytically activated two stroke SI engine combustion Chamber. *SAE Technical Papers* 1999-Janua: 193–200.
- Niaki, S.R.A. Zadeh, F.G. Niaki, S.B.A. Mouallem, J. & Mahdavi, S. 2019. Experimental investigation of effects of magnetic field on performance, combustion, and emission characteristics of a spark ignition engine. *Environmental Progress and Sustainable Energy* 39(2): 01–09.
- Nufus, T.H. Lestari, S. Ulfiana, A. & Manawan, M. 2020. Magnetization of biodiesel (Cooking Oil Waste) to temperature and pressure combustion in Diesel engine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 924(1).
- Nufus, T.H. Setiawan, R.P. Hermawan, W. & Tambunan, A.H. 2017. The effect of electro magnetic field intensity to biodiesel characteristics. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia* 13(2): 119–26.
- Ochoa-Hueso, R. et al. 2017. Ecological impacts of atmospheric pollution and interactions with climate change in Terrestrial Ecosystems of the Mediterranean Basin: Current research and future directions. *Environmental Pollution* 227: 194–206.
- Oommen, L.P. & G. N, K. 2020. Experimental studies on the influence of axial and radial fields of Sintered Neo-Delta Magnets in reforming the energy utilization combustion and emission properties of a hydrocarbon Fuel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*: 1–21.
- Raj Kumar, A. & Janardhana Raju, G. 2021. Experimental investigation of a magnetic fuel ionization method in a Diesel Engine to improve the performance and emissions. *Journal of Physics: Conference Series* 1817(1): 1-9.
- Reynaert, M. 2020. Abatement strategies and the cost of environmental regulation: Emission standards on the European Car Market. *The Review of Economic Studies*: 1–35.
- Sahoo, R.R. & Jain, A. 2019. Experimental analysis of Nanofuel Additives with Magnetic Fuel Conditioning for Diesel Engine Performance and Emissions. *Fuel* 236: 365–72.
- Sankar, V. Chandran, S.M. Tomy, T. Raj, U. Samson, V. & Ramachandran, K. 2018. Effect of magnetic field to reduce emissions and improve combustion performance in a Spark-Ignition Engine. In *Advanced Manufacturing and Materials Science* 1- 10.
- Sayin, C. & Canakci, M. 2009. Effects of injection timing on the engine performance and exhaust emissions of a Dual-Fuel Diesel Engine. *Energy Conversion and Management* 50(1): 203–13.
- Tao, R. Du, E. Tang, H. & Xu, X. 2014. Neutron scattering studies of crude oil Viscosity reduction with electric Field. *Fuel* 134: 493–98.
- Tao, R. & Tang, H. 2014. Reducing viscosity of paraffin base crude oil with electric field for oil production and transportation. *Fuel* 118: 69–72.
- Tao, R. & Xu, X. 2006. Reducing the viscosity of crude oil by pulsed electric or magnetic field. *Energy and Fuels* 20(5): 2046–51.
- Thiyagarajan, S. Sonthalia, A. Edwin Geo, V. Ashok, B. Nanthagopal, K. Karthickeyan, V. & Dhinesh, B. 2019. Effect of electromagnet-based Fuel-Reforming system on High-Viscous and Low-Viscous biofuel fueled in Heavy-Duty CI Engine. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 138(1): 633–44.
- Thiyagarajan, S. Edwin Geo, V. Ashok, B. Nanthagopal, K. Vallinayagam, R. Saravanan, C.G. & Kumaran, P. 2019. NOx emission reduction using permanent/Electromagnet-based fuel reforming system in a compression ignition engine fueled with pine oil. *Clean Technologies and Environmental Policy* 21(4): 815–25.
- Tipole, P. Karthickeyan, A. Bhojwani, V. Tipole, B. Sundare, A. & Shah, P. 2017. Investigation on performance diesel engine with integration of magnetic flux on the Fuel Line. *International Journal of Ambient Energy* 39(7): 726–31.
- Tipole, P. Karthickeyan, A. Bhojwani, V. Deshmukh, S. Babar, H. & Tipole, B. 2017. Reduction in the exhaust emissions of Four-Stroke Multi-Cylinder SI engine on application of multiple pairs of magnets. *International Journal of Ambient Energy* 39(8): 823–29.
- Tipole, P. Karthickeyan, A. Bhojwani, V. Deshmukh, S. Babar, H. & Tipole, B. 2019. Examining the impact of magnetic field on fuel economy and emission reduction in I.C. Engines. *International Journal of Ambient Energy*: 1–7.
- Trout, S.R. 2000. Understanding permanent magnet materials; an Attempt at Universal Magnetic Literacy. In *Proceedings of EMCW 2000*, 1- 7.
- Tsai, J.H. Lin, S.L. Mwangi, J.K. Chen, C.Y. & Wu, T.S. 2015. Energy saving and pollution reduction by adding water containing Iso-Butanol and Iso-Propyl Alcohol in a Diesel Engine. *Aerosol and Air Quality Research* 15(5): 2115–28.
- Ubaid, S. Xiao, J. Zacharia, R. Chahine, R. & Bénard, P. 2014. Effect of para-ortho conversion on hydrogen storage system performance. *International Journal of Hydrogen Energy* 39(22): 11651–60.
- Ueno, S. & Iwasaka, M. 1994. Properties of diamagnetic fluid in High Gradient Magnetic Fields. *Journal of Applied Physics* 75(10): 7177–79.
- Ugare, V. Bhave, N. & Lutade, S. 2013. Performance of spark ignition engine under the influence of magnetic field. *International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering* 1(3): 36–43.
- Ulfiana, A. Nufus, T.H. Ridwan, E. Ekayuliana, A. Slamet Abadi, C. Apriana, A. & Susanto, I. 2021. A study Of bioethanol fuel characteristics in the combustion chamber of gasoline engine using magnetization technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 1: 72–76.
- Xiong, H. Zhang, J. Degner, M.W. Rong, C. Liang, F. & Li, W. 2016. Permanent-magnet demagnetization design and validation. *IEEE Transactions on Industry Applications* 52(4): 2961–70.
- Zhou, K.X. Lu, G.W. Zhou, Q.C. Song, J.H. Jiang, S.T. & Xia, H.R. 2000. Monte Carlo simulation of liquid water in a magnetic field. *Journal of Applied Physics* 88(4): 1802–5.