

Pengaruh Variasi Arah Medan Magnet Pembakaran Premixed Minyak Nabati terhadap Karakteristik Nyala Api pada Tungku Industri

Dony Perdana *

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Maarif Hasyim Latif,
Jl. Ngelom Megare 30, Taman, Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia, 61257

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memahami dampak berbagai arah medan magnet dan campuran minyak nabati terhadap bentuk, tinggi, dan suhu nyala api selama pembakaran premixed. Penelitian ini penting untuk menggantikan bahan bakar fosil dengan minyak nabati. Bahan bakar yang digunakan adalah campuran minyak kapas dan jarak Blending 50% (B50) diisi ke ketel dengan volume 600 ml, kemudian dipanaskan dengan suhu 300°C dan menempatkan 2 magnet permanen diujung burner. Penelitian ini menemukan kekuatan medan magnet yang besar terjadi di medan magnet tarik, sehingga membuat nyala api lebih terang (transparant) dan lebih stabil dibandingkan dengan magnet tolak dan tanpa magnet. Medan magnet menghasilkan gaya lorentz secara kontinyu memotong mata rantai kimia bahan bakar mengakibatkan getaran magnetic dinyala api, beberapa Oksigen (O₂) memisahkan diri dari kelompoknya menyebabkan lepasnya elektron sehingga bilangan oksidasinya meningkat maka terjadilah kenaikan temperatur nyala api yang diakibatkan reaksi pembakaran cepat. Aliran udara yang diinduksi secara magnetis oleh medan magnet di sekitar nyala api menyebabkan konveksi di sekitar nyala api, yang menghasilkan perubahan penurunan ketinggian nyala api.

Kata kunci: medan magnet; minyak nabati; pembakaran premixed; stabilitas nyala api; warna nyala api

Abstract

[Title: *The Influence of Variations of the Direction Magnetic Fields of the Vegetable Oil Premixed Combustion of Flame Characteristics in Industrial Furnaces*]. These studies aim to understand the influences of the various magnetic field directions and vegetable oil mixtures on the flame's shape, height, and temperature during premixed combustions. The study is important to replace fossil fuels with vegetable oil. The fuel used is a blend of cotton and castor oil Blending 50% (B50) filled into a boiler with a volume of 600 ml, then was heated to a temperature of 300°C and placed two permanent magnets were on the tip of the burner. This study found that a significant magnetic field strength in the attractive magnetic fields had a higher power, thus making the flame brighter (transparent) and more stable than the repulsive magnetic field and without magnetism. The magnetic fields produce the Lorentz force which continuously cuts the chemical link in the fuel causing magnetic resonance in the flame. Some of the Oxygen (O₂) escapes from the homogeneity which causes the loss of electrons so that the oxidation number increases. The increase in oxidation number causes the combustion reaction to being faster so that the flame temperature increases. The airflow that is magnetically induced by the magnetic field around the flame causes convection around a fire, so a change in the flame height.

Keywords: magnetic fields; vegetable oils; premix combustion; flame stability; flame colors

*) Penulis Korespondensi.

E-mail: dony_perdana@yahoo.co.id

1. Pendahuluan

Energi sangat penting untuk kualitas hidup, tingkat kesejahteraan, pembangunan sosial masyarakat serta pertumbuhan ekonomi. Permintaan energi di seluruh dunia meningkat pesat sebagai akibat dari,

sumber daya minyak mentah semakin berkurang; penggunaan energi semakin bertambah sebagai akibat trend modernisasi dan industrialisasi yang sedang berlangsung. Bahan bakar fosil memiliki dampak negatif bagi lingkungan sehingga menggali sumber energi alternatif, berkesinambungan, ekonomis dan polusi rendah (Nigam & Singh, 2011).

Dalam empat dekade terakhir telah banyak dilakukan penelitian tentang mesin diesel dengan menggunakan minyak nabati atau turunannya terkait dengan karakteristik pembakaran. Penelitian yang ada menunjukkan bahwa karakter minyak nabati mendekati solar (Martin dkk., 2012). Bahan bakar mesin diesel yang digunakan juga bisa menggunakan beragam minyak nabati antara lain: minyak pongam, lobak, dedak padi, kapas, bunga matahari dan jarak (Raja dkk., 2011). Mesin diesel tanpa modifikasi dengan menggunakan bahan bakar minyak nabati dapat beroperasi dengan memuaskan dalam waktu singkat. Karena kandungan oksigen, densitas dan viskositas minyak nabati sangat tinggi dibanding solar, maka diperlukan pemanasan awal pada minyak nabati sebelum digunakan pada proses pembakaran (José dkk., 2012)

Untuk mendapatkan nilai optimal pada proses pembakaran diantaranya dapat menggunakan metode perbandingan perbedaan nilai *Air Fuel Ratio* (AFR) (Boushaki dkk., 2017). Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait pembakaran menggunakan bahan bakar gas dan minyak nabati menunjukkan bahwa variasi perbandingan campuran udara dengan bahan bakar menentukan kecepatan nyala api. AFR mempengaruhi efisiensi mesin pembakaran dalam yang menggunakan bakar hidrogen (Rahman dkk., 2011). *Equivalence ratio* semakin meningkat menyebabkan kecepatan pembakaran nyala api pada *perforated* dan *bunsen burner*, semakin turun pada semua minyak nabati, diantaranya: minyak kelapa murni, jarak pagar, dan kapuk (Wirawan dkk., 2014).

Minyak nabati dikenal sebagai bahan bakar karena kinerjanya secara keseluruhan (efisiensi dan emisi). Namun ada sejumlah masalah dalam penggunaannya: buntunya saringan, serta adanya kotoran pada ruang bakar. Pemecahan masalah yang dianjurkan: yaitu (1) minyak nabati *blending* solar dengan rasio yang bervariasi; (2) minyak nabati dipanaskan terlebih dahulu; (3) resirkulasi gas buang; dan (4) modifikasi ruang bakar (piston, injektor).

Seiring dengan perbaikan berkelanjutan dalam sistem pembakaran, konsep baru untuk sistem pembakaran perlu dikaji. Pembakaran dengan bantuan medan magnet dapat menjadi pilihan yang layak dalam meningkatkan efisiensi pembakaran dan pengendalian nyala api. Medan magnet mempengaruhi peningkatan atomisasi bahan bakar sehingga efisiensi mesin semakin

meningkat dan emisi polusi semakin turun (Uguru-Okorie, 2013). Emisi polusi dan energi pada kinerja mesin diesel dan mesin bensin yang dipengaruhi oleh medan magnet (Faris dkk., 2012).

Medan magnet ditempatkan di saluran bahan bakar pada perangkat kontrol polutan. Pengaruh magnet permanen dengan intensitas 2000 Gauss (G) pada mesin diesel silinder tunggal beban penuh, berupa penurunan *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC), Nitrogen Oksida (Nox), Hidrokarbon (HC), dan Karbon Dioksida (CO₂) masing-masing sebesar 8%; 27,7%; 30%; dan 9,72% (Chen dkk., 2017). Mesin diesel yang dipengaruhi medan magnet, menyebabkan berkurangnya BSFC 3,5%; partikulat; Karbon Monoksida (CO); HC; dan CO₂ 21,9–33,3%; 5,4–11,3%; 29,4–64,7%; dan 2,68–4,18%. Namun, NOx meningkat 1,24–13,4%. Putaran mesin diesel (1000 hingga 2500 rotasi per menit (rpm) dengan menggunakan variasi intensitas medan magnet (7000, 9000 dan 18000 G) dan tanpa, menemukan pengurangan konsumsi bahan bakar (15,71%), BSFC (15,71%) dan HC (29,82%), namun CO₂ meningkat 33,04% (Kurji & Imran, 2018).

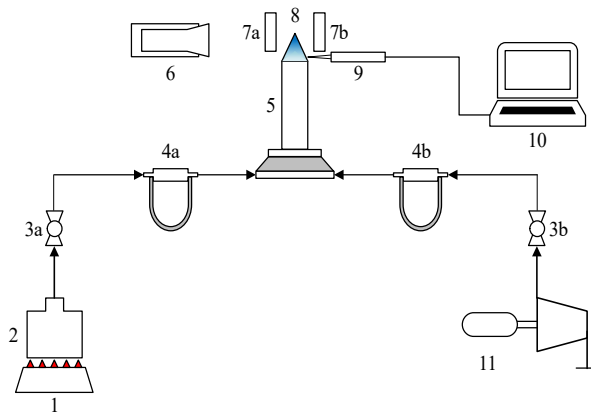
Dari penelitian yang ada, belum banyak kajian tentang upaya untuk mendapatkan proses pembakaran yang stabil yang menunjang performa mesin. Penelitian lebih lanjut diperlukan terutama terkait peran medan magnet dalam menstabilkan proses pembakaran. Penelitian ini menelaah pengaruh medan magnet dalam menjaga kestabilan pembakaran minyak nabati pada proses pembakaran. Dengan kata lain, mempelajari dampak bahan bakar tersebut pada ruang bakar, terutama pada peralatan tungku industri selama penggunaan jangka waktu lama.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran variasi orientasi medan magnet di pembakaran *premixed* campuran minyak kapas dengan minyak jarak dengan *Blending* 50% (B50), terutama magnet tolak dan magnet tarik terhadap karakteristik pembakaran dan perilaku nyala api. Informasi tersebut dapat digunakan di masa depan sebagai metode kontrol yang layak menggunakan medan magnet.

2. Bahan dan Metode

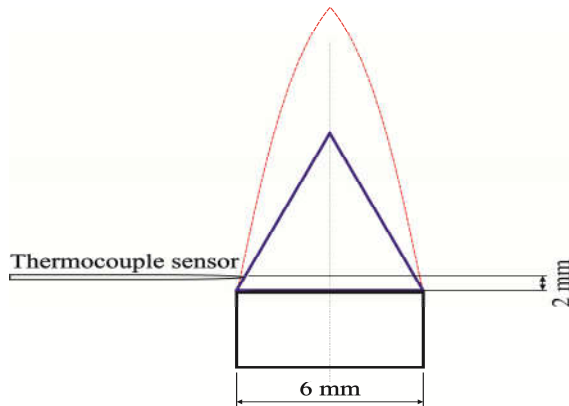
2.1. Skema peralatan eksperimen

Metodologi eksperimental yang digunakan pada penelitian yaitu pengujian dilaksanakan secara langsung pada obyek yang diteliti untuk mendapatkan data. Gambar 1 menunjukkan peralatan secara skematis. Peralatan eksperimental dibuatkan dalam proporsi laboratorium. Pembakaran premix minyak nabati di *bunsen burner* tipe *cylinder*, minyak nabati diisikan pada ketel sampai terbentuk uap sampai nyala api (Bahri dkk., 2015).

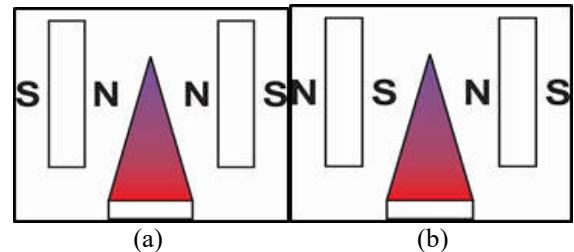


Gambar 1. Peralatan eksperimen: 1. kompor LPG 2. ketel 3. katup 4. *flow control* 5. *burner tipe cylinder* 6. kamera berkecepatan tinggi 7. magnet permanen 8. nyala api 9. *thermocouple* 10. data logger 11. kompresor

Campuran minyak kapas dengan minyak jarak (Blending 50% atau B50) sebanyak 600 ml diisi ke ketel. Ketel dipanaskan dengan kompor dengan tekanan 3 bar dan suhu konstan 320°C. Katup masuk uap bahan bakar dibuka dan katup masuk udara ditutup. Katup inlet udara dibuka sedikit kemudian ditulis perbedaan tinggi di *flow control*. Pada bahan bakar selisih ketinggian di *flow control* dicatat dan dijaga konstan. Peningkatan bukaan katup masuk udara secara bertingkat, perbedaan tinggi di *flow control* udara ditulis. Nilai AFR diperoleh dari selisih tinggi bahan bakar dijaga stabil dengan udara yang divariasikan. Campuran uap minyak nabati dan udara dari kompresor terjadi di ruang *bunsen burner tipe cylinder* berbahan pipa *stainless steel*, dengan dimensi diameter 24 dan panjang 200 mm. Campuran reaktan kemudian mengalir ke *nozzle* dengan diameter dalam 6 mm. Pada *nozzle* diumpun api menyebabkan nyala difusi. Dengan meningkatkan jumlah udara dalam campuran, maka nyala api akan berubah secara bertahap



Gambar 3. Posisi *Thermocouple*



Gambar 2. (a) Arah medan magnet tolak dan (b) tarik

menjadi api *premixed*.

Nyala api yang terbentuk kemudian divariasikan medan magnet tolak, tarik dan tanpa medan magnet. Pengambilan data nyala api dilakukan 5 kali dari awal api menyala sampai padam dengan menggunakan *high speed camera* kecepatan 320 *frame per second* (fps). Dua buah batang magnet permanen berbahan neodymium dengan lapisan nikel (N45) dengan nilai intensitas medan magnet 1.1 Tesla (11000 G) berdimensi 40 x 25 x 10 mm ditunjukkan Gambar 2. Pelat aluminium sebagai dudukan magnet dikencangkan oleh baut dan mur, mempermudah bongkar pasang untuk memvariasikan arah medan magnet. Terdapat celah 12 mm antar kedua batang magnet. *Thermocouple type K* dihubungkan ke data *logger* untuk merekam temperatur yang diukur dengan menempatkan sensor pada posisi daerah reaksi dengan jarak 2 mm di atas ujung *burner* pada Gambar 2.

Perangkat *free video to jpg converter* digunakan untuk mendapatkan bagian-bagian foto nyala api yang dihasilkan dari bentuk nyala api yang direkam. Perangkat *Image J* dan *Corel Draw* digunakan untuk mengolah bentuk dan tinggi nyala api *premixed* yang dihasilkan dari potongan foto nyala api.

2.2. Minyak nabati

Penelitian ini menggunakan campuran minyak kapas dengan minyak jarak *blending* 50% (B50). Semua minyak nabati diperoleh dari produk komersial. Sifat fisika dari berbagai minyak nabati ditunjukkan pada Tabel 1 (Perdana dkk., 2018).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Medan Magnet dan Tanpa Medan Magnet pada Variasi AFR terhadap Bentuk Nyala Api

Gambar 4a-4c menunjukkan nyala api dari pembakaran *premixed* pada medan magnet tolak, tarik dan tanpa pada variasi AFR. Daerah nyala api yang terbentuk dibagi menjadi dua daerah yaitu *innercone* dan *outercone*. Nyala api pada medan magnet tarik lebih stabil dibandingkan dengan medan magnet tolak maupun tanpa medan magnet (Gambar 4c). Nilai AFR kecil menghasilkan nyala api lebih stabil, dibuktikan dengan hasil AFR mulai 3,6 sampai 17,4. Hal ini

dimungkinkan karena medan magnet tarik memompa O₂ melintasi nyala api dari sumbu *South* (S) ke *North* (N). Sebaliknya, air (H₂O) selaku sumber panas dipompa keluar melewati api dari sumbu N ke S. Perpindahan panas dan massa yang saling melintas ini yang membuat reaksi maksimal.

Warna nyala api yang dipengaruhi medan magnet lebih terang, transparan dan bentuk nyala api lebih lebar dibandingkan dengan tanpa medan magnet. Hasil ini mirip dengan pembakaran *premixed* minyak kelapa dengan penambahan medan magnet (Soebiyakto dkk., 2016). Hal ini disebabkan oleh gaya *lorent* dengan *eddy current* secara kontinyu memutar dan memutus nyala api dengan sendiri sehingga menyebabkan gelombang cahaya yang terpolarisasi. Pada arah medan magnet tidak terlihat garis-garis warna yang seharusnya ada di tengah-tengah. Hal ini disebabkan cahaya merupakan gelombang elektromagnetik *transversal*, bukan *longitudinal*. Jika nyala api mempunyai banyak partikel, maka energi panas diambil dan dilemparkan kembali dalam bentuk cahaya. Itu sebabnya muatan partikel yang berbeda beda menghasilkan pancaran panjang gelombang atau warna cahaya berlainan.

Keberadaan medan magnet mengakibatkan terpisahnya dan bergesernya garis spektrum nyala api. Semakin kuat medan magnet yang terjadi semakin besar gaya *lorent* secara kontinyu mengaduk reaktan. Nyala api menimbulkan putaran dari satu partikel yang dipengaruhi oleh kuatnya medan magnet yang menyebabkan munculnya energi kinetik. Ion positif dan negatif yang bergerak akibat dari energi kinetik saling bertumbukan satu sama lain. Akibatnya proses ini, luasan (zona) warna nyala api cenderung melebar dan tingginya menurun, nyala api semakin stabil serta warna nyala api semakin transparan jika dibandingkan tanpa menggunakan medan magnet.

3.2. Pengaruh Medan Magnet dan Tanpa Medan Magnet pada Variasi AFR terhadap Tinggi Nyala Api

Grafik pengaruh AFR terhadap tinggi nyala api, tanpa medan magnet, medan magnet tolak dan tarik ditunjukkan di Gambar 5. Tinggi nyala api yang tertinggi pada medan magnet tarik 27.54 mm di AFR 3.6. Trendnya menurun dengan meningkatnya AFR 17.4 dengan tinggi nyala api 12.23 mm. Medan magnet tolak tinggi nyala apinya lebih tinggi dibandingkan medan magnet tarik pada AFR yang sama dengan tinggi 28.17. Trendnya menurun seiring dengan meningkatnya AFR. Nyala api tertinggi terjadi pembakaran tanpa medan magnet dibandingkan dengan medan magnet tolak dan tarik, pada AFR 3.6 tinggi nyala api tanpa magnet 28.52 mm kemudian seiring dengan meningkatnya AFR tinggi nyala api 14.87 mm. Urutan besarnya kerentanan gas paramagnetik secara signifikan lebih tinggi daripada diamagnetik sehingga gaya magnet yang bekerja pada nyala api terutama dikaitkan dengan pengaruh O₂ sebagai paramagnetik.

Aliran udara yang diinduksi secara magnetis di sekitar nyala api menyebabkan konveksi di sekitar nyala api, yang menghasilkan perubahan ketinggian nyala api. O₂ mengalir ke bagian bawah nyala api dari kedua sisi dan meningkatkan konsentrasi O₂ di sekitar zona reaksi (Perdana dkk., 2020). Arah medan magnet tarik mempengaruhi laju aliran O₂ menyebabkan konveksi di sekitar nyala api, sehingga O₂ mengalir ke bagian bawah nyala api dari kedua sisi akibat gaya tarik dari medan magnet. Aliran ini meningkatkan konsentrasi O₂ dan molekul bahan bakar di sekitar zona reaksi menyebabkan pembakaran lebih reaktif dan singkat sehingga menghasilkan sudut nyala api yang besar dan mempengaruhi kenaikan tinggi nyala api. Semakin besar medan magnet tarik semakin besar sudut nyala api, maka tinggi nyala api sangat pendek, sebaliknya

Tabel 1. Sifat Fisiko Minyak Nabati

Property	ASTM methode	Instrument	Model	Value			
				Ceiba petandra oil	Jatropha curcas lin oil	Catton seed oil	Coconut oil
Density at 40°C (kg/m ³)	D1298	Hydrometer	Nikky, Japan	974	921	955	936
Kinematic vizcosity at 40°C (cSt)	D445	Kinematic viscometer	Leybold Didactic, Germany	45,55	35,48	41,65	55,55
Flash point (C)	D93	Pensky-Martens closed cup tester	Leybold Didactic, Germany	260	240	250	265
pH	D6423	pHep tester	UAS HANNA Instrument UAS	5	4,5	4	6

semakin kecil medan magnet tolak semakin kecil sudut nyala api, maka nyala api semakin tinggi.

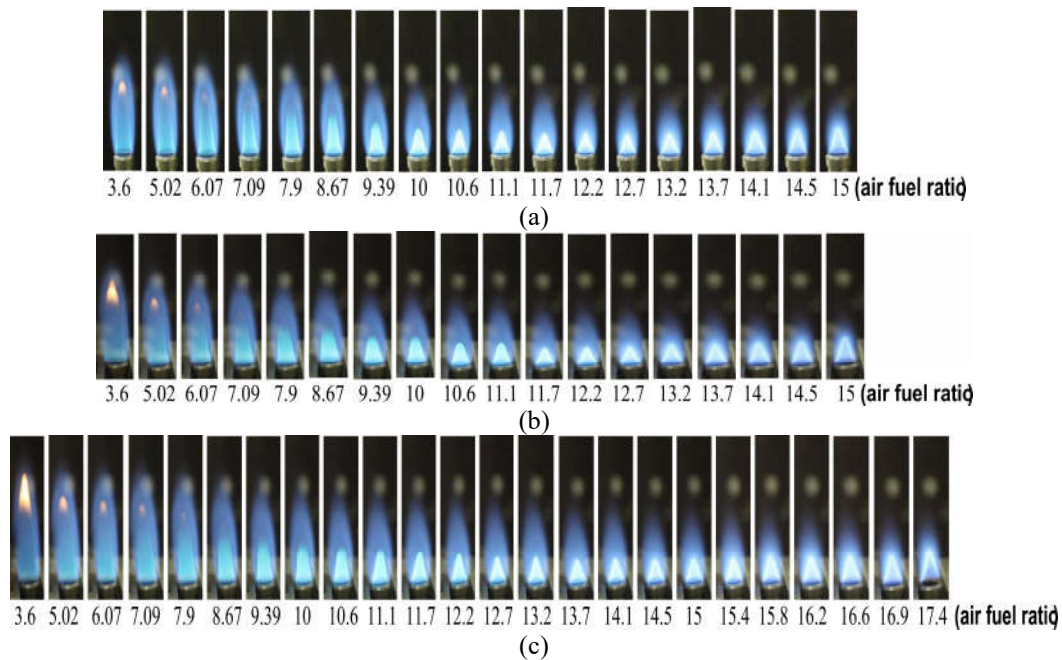
Fenomena ini terjadi karena lepasnya molekul O_2 dan H_2O yang didorong keluar oleh medan magnet yang lemah disebabkan adanya gaya tolak antar magnet disekitar nyala api, menyebabkan nyala api difusi karena bereaksi di zona *cone* dengan ditunjukkan kerucut nyala api lebih tinggi.

3.3. Pengaruh Medan Magnet dan Tanpa Medan Magnet pada Variasi AFR terhadap Temperatur

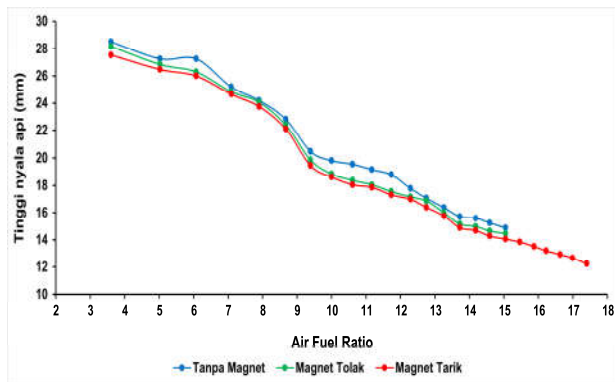
Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan AFR terhadap temperatur nyala api, tanpa medan magnet, medan magnet tolak dan medan magnet tarik.

Temperatur nyala api tertinggi pada pembakaran premixed terjadi pada medan magnet tarik $694^{\circ}C$ pada AFR 12.29 kemudian seiring meningkatnya AFR diikuti menurunnya temperatur $443^{\circ}C$ pada AFR 17.4. Medan magnet tolak temperatur nyala api tertinggi $663^{\circ}C$ kemudian trendnya menurun dengan meningkatnya AFR. Temperatur nyala api terendah pada pembakaran premixed tanpa medan magnet sebesar $634^{\circ}C$.

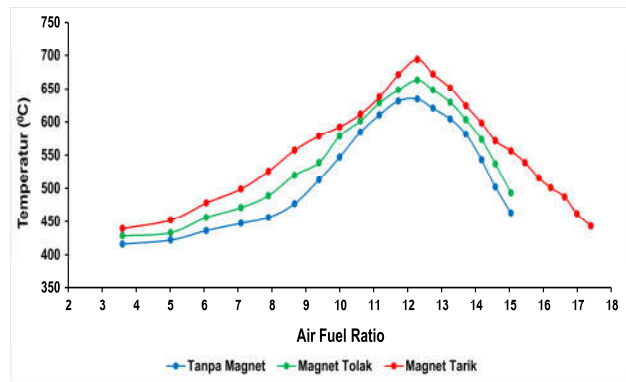
Besarnya kerentanan paramagnetik O_2 jauh lebih banyak daripada unsur diamagnetik (Nitrogen/ N_2 , CO_2 , CO , H_2O). Pengaruh gradien medan magnet pertama terhadap variasi temperatur nyala api tergantung pada fraksi mol O_2 dan kerentanan magnetik O_2



Gambar 4. Stabilitas dan bentuk nyala api terhadap AFR; (a) tanpa magnet (b) medan magnet tolak (c) medan magnet tarik



Gambar 5. Hubungan AFR terhadap tinggi nyala api, dengan tanpa medan magnet, medan magnet tolak, dan medan magnet tarik



Gambar 6. Hubungan AFR terhadap temperatur nyala api, tanpa medan magnet, medan magnet tolak, dan medan magnet tarik

paramagnetik, kedua adanya gaya lorent secara kontinyu memotong mata rantai kimia bahan bakar mengakibatkan resonansi magnetik pada nyala api, sebagian kecil O₂ memisahkan diri dari gugus dan sebagian bahan bakar mengalami perubahan suhu dan panas menyebabkan lepasnya elektron sehingga bilangan oksidasinya meningkat maka terjadilah kenaikan temperatur nyala nyala api. O₂ sebagai paramagnetik tertarik ke bagian bawah nyala api dari udara sekitarnya menyebabkan konsentrasi O₂ meningkat di zona reaksi nyala api dan menghasilkan pembakaran sempurna (Perdana dkk., 2020).

Ketika nyala api ditempatkan pada medan magnet yang besar, jumlah udara maksimum ditarik menuju pangkal *burner*, sedangkan gas diamagnetik tertarik ke arah luar medan magnet, maka semua produk pembakaran didorong menjauh dari zona reaksi. Hal ini menyebabkan peningkatan karakteristik pembakaran dan perilaku pembakaran sehingga temperatur nyala api meningkat.

4. Kesimpulan

Medan magnet tarik mempunyai kekuatan yang besar sehingga bergerak aktif akibat dari energi kinetik yang saling bertabrakan. Hal ini membuat nyala api mengalami gaya turbulen sehingga mengakibatkan luasan nyala api melebar, lebih stabil, warna lebih transparan, temperatur tertinggi mencapai 694°C namun tinggi nyala api rendah sebesar 27.54 mm. Aliran udara yang diinduksi secara magnetis oleh medan magnet di sekitar nyala api menyebabkan konveksi di sekitar nyala api, yang menghasilkan perubahan ketinggian nyala api. O₂ mengalir ke bagian bawah nyala api dari kedua sisi dan meningkatkan konsentrasi O₂ di sekitar zona reaksi. Molekul bahan bakar bereaksi dengan molekul oksigen menyebabkan pembakaran yang lebih sempurna dengan terbentuknya kerucut dalam dan luar nyala api sangat pendek.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Maarif Hasyim Latif Sidoarjo yang telah mendanai keberlangsungan artikel ini.

Daftar Pustaka

- Bahri, S. M. L., Wardana, I. N. G., Widhiyanuriyawan, D. (2015). Pembakaran Premixed Minyak Nabati pada Bunsen Burner Type Silinder. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(1), 45–50.
- Boushaki, T., Merlo, N., Chauveau, C., & Gökalp, I. (2017). Study of Pollutant Emissions and Dynamics of Non-Premixed Turbulent Oxygen Enriched Flames from a Swirl Burner.

Proceedings of the Combustion Institute, 36(3), 3959–3968.

<https://doi.org/10.1016/j.proci.2016.06.046>

- 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. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.11.0478>
- 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, 327–338. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.044>
- José, J. F. S., Romero-ávila, C., José, L. M. S., & Awf, A. (2012). Characterising Biofuels and Selecting the Most Appropriate Burner for their Combustion. *Fuel Processing Technology*, 103, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.07.023>
- Kurji, H. J., & Imran, M. S. (2018). Magnetic Field Effect on Compression Ignition Engine Performance. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(12).
- Martin, M. L. J., Geo, V. E., Singh, D. K. J., & Nagalingam, B. (2012). A Comparative Analysis of Different Methods to Improve the Performance of Cotton Seed Oil Fuelled Diesel Engine. *Fuel*, 102, 372–378. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.06.049>
- Nigam, P. S., & Singh, A. (2011). Production of Liquid Biofuels from Renewable Resources. In *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(1). <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2010.01.003>
- Perdana, D., Wardana, I. N. G., Yuliati, L., & Hamidi, N. (2018). The Role of Fatty Acid Structure in Various Pure Vegetable Oils on Flame Characteristics and Stability Behavior for Industrial Furnace. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(8–95), 65–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144243>
- Perdana, D., Yuliati, L., Hamidi, N., & Wardana, I. N. G. (2020). The Role of Magnetic Field Orientation in Vegetable Oil Premixed Combustion. *Journal of Combustion*, 2020, 11. <https://doi.org/10.1155/2020/2145353>
- Rahman, M. M., Hamada, K. I., Noor, M. M., Kadirgama, K., Bakar, R. A., & Rahim, M. F. A. (2011). Heat Transfer Characteristics in Exhaust Port for Hydrogen Fueled Port Injection Engine: a Transient Approach. *Advanced Materials Research*, 152–153, 1909–1914. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.152-153.1909>

- Raja, S., Smart, D., & Lee, C. (2011). Biodiesel Production from Jatropha Oil and Its Characterization. *Research Journal of Chemical Sciences*, 1(1), 81–87.
- Soebiyakto, G., Wardana, I. N. G., Hamidi, N., & Yuliati, L. (2016). Pengaruh Medan Magnet Terhadap Warna Api Pembakaran Premix Minyak Kelapa. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Aplikasinya*, 8, 17–20.
- Uguru-Okorie, D. C. (2013). Combustion Enhancers in Diesel Engines: Magnetic Field Option. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 5(5), 21–24. <https://doi.org/10.9790/1684-0552124>
- Wirawan, I. K. G., Wardana, I. N. G., Soenoko, R., & Wahyudi, S. (2014). Premixed Combustion of Kapok (Ceiba Pentandra) Seed Oil on Perforated Burner. *International Journal of Renewable Energy Development*, 3(2), 91–97.